

Zur Hydrogeologie im Bereich des Regnitztals zwischen
Erlangen/Bruck und Mannhof/Fürth unter Berücksichtigung
geophysikalischer Prospektionsmethoden.

vorgelegt von
Zeynel Abidin Demirel
aus Mardin/Türkei

1984

Den Naturwissenschaftlichen Fakultäten der Friedrich-Alexander-
Universität Erlangen-Nürnberg



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Zur Hydrogeologie im Bereich des Regnitztals zwischen
Erlangen/Bruck und Mannhof/Fürth unter Berücksichtigung
geophysikalischer Prospektionsmethoden.

vorgelegt von
Zeynel Abidin Demirel
aus Mardin/Türkei

1984

Den Naturwissenschaftlichen Fakultäten der Friedrich-Alexander-
Universität Erlangen-Nürnberg

Als Dissertation genehmigt von den Naturwissenschaftlichen
Fakultäten der Universität Erlangen-Nürnberg.

Tag der mündlichen Prüfung : 24.2.1984

Vorsitzender der Promotionskommission : Professor Dr.K.Jacobs

Erstberichterstatte r : Professor Dr.K.Poll

Zweitberichterstatte r : Professor Dr.W.Bausch

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>SEITE</u>
Vorwort	3
1. Geographischer Überblick	5
1.1. Lage des Arbeitsgebietes	5
1.2. Geomorphologie	5
1.3. Hydrographie	6
1.4. Klima	6
2. Problemstellung und Untersuchungsprogramm	8
3. Geologie	9
3.1. Geologischer Überblick	9
3.2. Schichtenfolge	10
3.2.1. Trias	10
3.2.1.1. Gipskeuper	10
3.2.1.1.1. Schilfsandstein	10
3.2.1.1.2. Lehrbergsschichten	10
3.2.1.2. Sandsteinkeuper	11
3.2.1.2.1. Blasensandstein	11
3.2.1.2.2. Guburgersandstein	12
3.2.1.2.3. Unterer Burgsandstein	12
3.2.2. Quartär	12
3.2.2.1. Pleistozän	12
3.2.2.1.1. Restschutt	12
3.2.2.1.2. Hochgelegene Schotter	13
3.2.2.1.3. Terrassen	13
3.2.2.1.3.1. Oberterrasse	13
3.2.2.1.3.2. Hauptterrasse	14
3.2.2.1.4. Flugsand und Dünen	15
3.2.2.2. Holozän	15
3.2.2.2.1. Talfüllungen	15
3.3. Lagerungsverhältnisse	17
4. Geophysikalische Methoden	17
4.1. Refraktion, Seismik	18
4.1.1. Das Prinzip der Refraktionseismik	18
4.1.2. Seismische Analyse	19
4.1.3. Gerätebeschreibung und Messmethodik	35
4.2. Geoelektrik	39
4.2.1. Erläuterung der Methode	39
4.2.2. Messverfahren	39
4.2.3. Messmethode	40
4.2.4. Auswertungen	41
4.2.5. Gerätebeschreibung	44

	<u>Seite</u>
4.3. Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen	49
5. Hydrogeologie	90
5.1. Überblick über das Kartenwerk	90
5.2. Grundwasserführung der Gesteinsfolge	92
5.2.1. Quartäre Ablagerungen	92
5.2.2. Der Sandstein keuper	101
5.2.3. Lehrbergschichten	102
5.3. Grundwassermorphologie	103
5.3.1. Grundwassergleichen-Karten	111
5.3.2. Karten der Flurabstände	117
5.3.3. Grundwasserganglinien	117
5.4. Aquifer-Kenndaten	128
5.4.1. Pumpversuchergebnisse	128
5.4.2. Die Bestimmung der Durchlässigkeitsbeiwerte aus den Körnungslinien	129
5.4.3. Durchlässigkeitsbeiwert-Bestimmung aus dem spez. elekt. Widerstand	131
5.5. Wasserbilanz und Grundwasserneubildung	132
6. Zusammenfassung	138
7. Literaturverzeichnis	140

ANHANG

Anlage 1	Geologische Übersichtskarte
Anlage 2	Quartär-Mächtigkeitskarte
Anlage 3	Strukturkarte der Quartärbasis
Anlage 4	Überschwemmungskarte (1971)
Anlage 5-13	Querprofile

Vorwort :

Dank schulde ich vor allem meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. K. POLL, der diese Arbeit anregte. Er führte mich in den Bereich Hydrogeologie und Geophysik ein. Er half mir bei fachlichen und auch bei organisatorischen und materiellen Fragen.

Mein Dank gebührt auch meinem verehrten Lehrer, Herrn Dr. J. POHL/Universität München für die Ratschläge bei geophysikalischen Messungen und Auswertungen.

Besonders gedankt sei auch meinem Studienkollegen Dr. B. REICHEL, der mir bei der Arbeit an den Rechenanlagen sehr hilfsbereit war und als kritischer Diskussionspartner wertvolle Anregungen gab.

Von Herrn Dr. H. ECKL erhielt ich viele Anregungen, besonders bei den geophysikalischen Arbeiten, und von Dipl. Geol. Bernhard REICHEL und G. DAFNER bei den Hydrogeologischen Arbeiten. Ihnen sei ebenso gedankt wie allen anderen Kollegen, die am Institut für Geologie und Mineralogie der Universität Erlangen in ähnlichen Themenkreisen arbeiteten und die stets offen für Diskussion und Erfahrungsaustausch waren. Dankbar bin ich auch Herrn H. MEIER, der mir freundlicherweise die geophysikalischen Geräte vorbereitet und zur Verfügung gestellt hat.

Nicht zuletzt möchte ich das MTA/Ankara (Institut für Lagerstättenforschung und -aufsuchung der Türkei) nennen, das meine Promotion in Deutschland unterstützte.

Schließlich danke ich meinen Eltern und meiner Ehefrau die mir von Anfang an viel Verständnis für die Dissertation entgegenbrachte und mir bei den Schreibarbeiten geholfen haben.

BENENNUNG		KURZZEICHEN		ZEICHEN	
BODENART (1)	BEIMENGUNG (2)	(1)	(2)	(1)	(2)
KIES	KIESIG	G	g		
Grobkies	grobkiesig	gG	gg		
Mittelkies	mittelkiesig	mG	mg		
Feinkies	feinkiesig	fG	fg		
SAND	SANDIG	S	s		
Grobsand	grobsandig	gS	gs		
Mittelsand	mittelsandig	mS	ms		
Feinsand	feinsandig	fS	fs		
SCHLUFF	SCHLUFFIG	U	u		
TON	TONIG	T	t		
TORF	TORFIG	Tf	tf		
STEINE	STEINIG	X	x		
TONMERGEL		Tm			
MERGEL		M			
KALKMERGEL		Km			

Tab.I a: LOCKERE SEDIMENTGESTEINE ;benutzte Signaturen und Syhbole

TABELLE I b: SIGNATUREN UND SYMBOLLE

BENENNUNG	KURZZEICHEN	ZEICHEN
KONGLOMERAT	Kg	
SANDSTEIN	Sst	
TONSTEIN	Tst	
MERGELSTEIN	Mst	
KALKSTEIN	Kst	

1. GEOGRAPHISCHER ÜBERBLICK

1.1. Lage des Arbeitsgebietes:

Das Arbeitsgebiet, gelegen zwischen $10^{\circ} 56' 11''$ ö.L. und $49^{\circ} 35' - 49^{\circ} 31'$ n.Br., befindet sich in der Luftlinie südlich von Erlangen und nördlich von Fürth, im Bereich des Gradabteilungsblatts Herzogenaurach "Nr. 6431" (siehe Abb. 1/1). Es umfaßt das Regnitztal von Mannhof/Fürth bis Bruck/Erlangen.

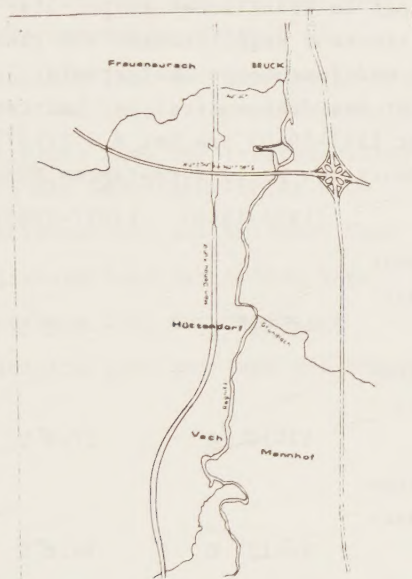


Abb. 1/1 : Lage des Arbeitsgebietes

1.2. Geomorphologie:

Das Arbeitsgebiet umfaßt außer dem Regnitztal im wesentlichen den westlich der Regnitz sich hinziehenden Teil des fränkischen Keuperbeckens. Das meist ebene bis flachwellige Gelände dacht sich ziemlich regelmäßig von Südwesten nach Nordosten ab.

Die höchste Erhebung befindet sich im Südwesten des Arbeitsgebietes westlich von Vach bei 320 m NN und die tiefsten Punkte im Regnitztal mit einer Höhe von 276.1 m NN im Raum von Eltersdorf und mit einer Höhe von 275.5 m NN südlich von Bruck.

1.3. Hydrographie :

Im Arbeitsgebiet erfolgt die Entwässerung durch die Regnitz, die von Süden nach Norden fließt. Zu der Regnitz strömen von Westen her Zenn und Aurach, von Osten her die Gründlach.

Das Gefälle der Regnitz beträgt im Arbeitsgebiet 0.12 %, das der Zenn 0.19 % und das der Aurach 0.21 % (W., HAARLÄNDER, 1971, Erläuterung zur Geol. Karte von Bayern Nr. 6431, S. 6).

1.4. Klima :

Das Arbeitsgebiet liegt im fränkischen Keuper-Lias-Land. Es umfaßt das warme und trockene Regnitzbecken und zieht sich nach Westen zum kühleren und feuchteren Steigerwald.

Im Arbeitsgebiet liegt das Jahresmittel der Lufttemperatur bei 8°-9° C (Mittelwert 1931-1960) bzw. bei 8.8° C (1977 - 1982 "nach Angaben des Deutschen Wetterdienstes, Nürnberg").

(1931-1960) (1977-1983)

Die mittlere Lufttemperatur des kältesten Monats (Jan.)		
beträgt :	-1°, -2° C	-0.2° C
Die mittlere Lufttemperatur des wärmsten Monats (Juli)		
beträgt :	17°-19° C	17.6° C
Die mittlere Lufttemperatur beträgt für die Monate Mai-Okt.		
beträgt :	14°-15° C	14.6° C
Die mittlere Jahresschwankung der Lufttemperatur beträgt :	18.5°-20° C	18° C

Niederschlagshöhen (vgl. dazu Abb. 1/2);

mittlere Niederschlagshöhe	650-750 mm	760 mm
November-April (Mittelwert)	300 mm	352 mm
Mai-Okt. (Mittelwert)	400-600 mm	408 mm

-mittlerer Anteil der Schneemenge am Gesamtniederschlag (%)

10-15

-mittlere jährliche Zahl der Tage mit einer Schneedecke von mindestens 10 cm Höhe

5-10 Tage

Die oben angegebenen Werte sind für die Zeitabschnitte 1931-1960 dem hydrologischen Atlas der BRD (1979) und 1977-1982 bzw. 1983 aus den Angaben des Deutschen Wetteramtes Nürnberg entnommen.

Die unten angegebenen Klimadaten, die aus dem Klima-Atlas von Bayern entnommen sind (KNOCH, 1952 in HAARLÄNDER, 1971 Erläuterung zur Geol. Karte von Bayern, S.6), geben erweiternde Überblicke über die Klimaverhältnisse des Arbeitsgebietes.

-mittlere Zahl der Eistage (Tageshöchsttemperatur unter 0°C)	20-30 Tage
-mittlere Zahl der Sommertage (Höchstwerte der Temperatur mindestens 25°C)	30-40 Tage
-mittlere Zahl der Frosttage (Tiefster Wert der Temperatur unter 0°C)	80-100 Tage
-mittlere Zahl der heiteren Tage	40-50 Tage
-mittlere Zahl der trüben Tage	140-150 Tage
-mittlere Zahl der Nebeltage	50 Tage
-mittlere Zahl der Tage mit Schneefall	30-40 Tage

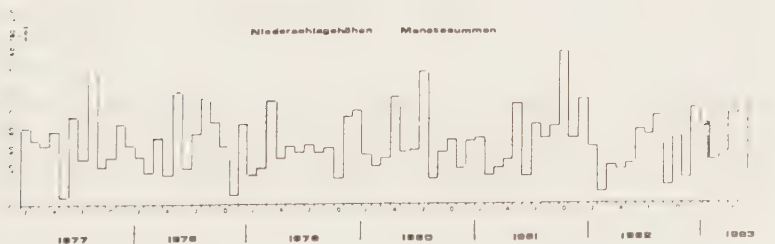


Abb.1.2 : Niederschlagshöhen (Monatssummen) für die Jahre 1977-1983

2. Problemstellung und Untersuchungsprogramm

Die vorgenommenen Baugrunduntersuchungen, Pegelmessungen, Bohrprofile der Brunnen und Bohrungen für den Main-Donau-Kanal ermöglichen nicht die genaue Untersuchung des betrachteten Raumes nach hydrogeologischen Verhältnissen.

In der vorliegenden Studie wurde ein bestimmtes Teilgebiet südlich von Erlangen gewählt und nach geophysikalischen Verfahren untersucht. Das Gebiet ist deshalb von speziellem Interesse, weil dort Trinkwassergewinnung (Gruppenwasserversorgung Eltersdorf und Wasserwerk Stadeln (südlich des untersuchten Raumes)) stattfindet.

Da das geoelektrische Verfahren für die hydrogeologischen Untersuchungen besonders geeignet ist, wurde es vornehmlich eingesetzt. Wegen seiner sicheren Aussagefähigkeit über den Gesteinsaufbau des Untergrundes wurde begleitend dazu das Seismik-Verfahren angewandt.

Folgende Arbeitsschritte wurden durchgeführt :

- Das zur Verfügung stehende Material, wie Aufschluß- und Pegelbohrungen, GW*-Ganglinien, Pumpversuche, Laboruntersuchungen, wurde zuerst geordnet.

- Durch dieses Material erfolgte die geologische Darstellung des untersuchten Raumes in Karten und in Querprofilen.

- Die Pegelmessungen im Raum Eltersdorf ermöglichten die Anfertigung von GW-Betriebsspiegelplänen (siehe Kap. 5.4 GW-Morphologie).

- Durch geophysikalische Messungen wurde dort, wo die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse unbekannt waren, das Informationspaket vergrößert und mit bekannten Informationen verglichen.

Es wurde ^{anschließend} versucht, die hydrogeologischen Verhältnisse des untersuchten Raumes darzustellen.

- Weiterhin wurde versucht, den Verlauf des heute unter Sanden begrabenen Talstückes der Regnitz zu verfolgen.

*GW=Abkürzung für Grundwasser, die im folgenden Text benutzt wird.

3.GEOLOGIE

3.1.GEOLOGISCHER ÜBERBLICK

Die geologische Übersichtskarte 1:10000 (Anlage 1) wurde aus der geologischen Karte "Herzogenaurach Blatt Nr. 6431" (aufgenommen von HAARLÄNDER, 1971) vergrößert.

Das Arbeitsgebiet wird vom Sandsteinkeuper eingerahmt. In der südwestlichen Ecke des Arbeitsgebietes treten noch die darunter liegenden Lehrbergschichten in den Bohrungen auf, über die HAARLÄNDER in seinen Kartierungsarbeiten berichtet hatte.

Die Schichten fallen generell (1° - 3° Neigung) von W nach E ein. Verwerfungen sind im Arbeitsgebiet nicht bekannt.

Der Blasensandstein besteht aus unterschiedlich ausgebildeten Sandsteinen in der Basis des Sandsteinkeupers, in die feste, sandige Schluffe und Tone linsenförmig eingelagert sind.

Der Sandsteinkeuper wird östlich der Regnitz von quartären Ablagerungen verhüllt; der anstehende Sandsteinkeuper wird dort z.T. von als Restschutt bezeichneten jüngeren Gesteinen bedeckt.

Neben der geologischen Karte standen einige Bohrungen und unveröffentlichte Gutachten zur Klärung der geologischen Verhältnisse zur Verfügung. Da der Großteil dieser Bohrungen in den randlichen Bereichen des Regnitztales liegt, ist die unterschiedliche Mächtigkeit der Quartärablagerungen bis jetzt nicht vollständig dargestellt worden. Es ist aber bekannt, daß sich die mächtigsten Ablagerungen südlich von Königsmühle an der Stelle der Brunnen Nr. 3-4 des Wasserwerks (Eltersdorfer Gruppe) befinden (HAARLÄNDER, 1971). Die Quartärbasis-Karte (siehe Anlage 3; nördlich von der Autobahn wurde die Karte von Prof. Dr. POLL aufgenommen) zeigt, daß in der nordwestlichen Umgebung des Kraftwerks Franken II der Sandsteinkeuper auch von mächtigen Quartärablagerungen verhüllt wird.

Nach HAARLÄNDER befand sich östlich der derzeitigen Flußeintiefung früher ein älterer Regnitzlauf. HAARLÄNDER hat in seinen Arbeiten drei verschiedene Querprofile zur Regnitz gelegt; diese Profile zeigen eine alte Rinne, die vom heutigen Tal durch einen Keuperrücken getrennt ist. Er vermutet, daß der Verlauf der Rinne von Vach nach Herboldsheim weiterzieht.

Nach POLL und WEICKEN (1976) ließ nach einer mindestens Mindel/Riß-zeitlicher Eintiefung der Ur-Regnitz in der Rißkaltzeit die Transport-

kraft des Regnitzsystems kräftig nach; demzufolge wurde das Ur-Regnitztal von den heutigen Sedimenten der Oberterrasse wieder aufgefüllt. Die rißzeitliche Talfüllung wurde durch die erneut gestiegene Transportkraft im Riß/Würm-Interglazial wieder teilweise ausgeräumt. In dieser Zeit haben sich auf der Oberterrasse Podsolböden entwickelt (BRUNNACKER, 1957). Während der Würmkaltzeit kam es wiederum zur Ablagerung von Sanden und Kiesen; sie erfüllen heute als Haupt- oder Niederterrasse den Regnitztalzug (POLL, 1976).

Um die Quarterbasis zuverlässiger darstellen zu können, wurden geophysikalische Messungen durchgeführt (siehe Kap. 4). Die Quartärbasis und die Quartärmächtigkeitskarte (siehe Anlage 2-3) und die Querprofile wurden mit Hilfe der geophysikalischen Messungen dargestellt.

3.2. SCHICHTENFOLGE

3.2.1. TRIAS

Der untere Keuper besteht aus einer 30.-35. m mächtigen Wechselfolge von Ton- und Sandsteinen mit wenigen Kalkbändern (POLL, 1978).

3.2.1.1. Gipskeuper

Der Schilfsandstein und die Lehrbergsschichten kommen außerhalb des Arbeitsgebietes im Blatt Herzogenaurach übertage vor. Die tieferen Estheriensschichten wurden durch die Bohrung bei der Königsmühle erbohrt (BIRZER, 1940, S. 7). Die Mächtigkeit des gesamten Gipskeupers beträgt 180 m (POLL 1978).

3.2.1.1.1. Schilfsandstein, kmS

Es fehlen Aufschlüsse und Steinbrüche, da die Dachlagen dieser Schichten von Gehängeschutt verdeckt (HAARLÄNDER, 1971) sind. BIRZER (1940) konnte tonigen und feinkörnigen Sandstein feststellen, auf dessen Schichtflächen Glimmer fleckenweise angereichert war. Nach THÜRACH (1888) soll der Schilfsandstein in Flutfazies ausgebildet sein (Brunnenbohrung in der Ziegelei Raindorf).

3.2.1.1.2. Lehrbergsschichten, kmL

Die tonigen Lehrbergsschichten stehen im südlichen Bereich des Blattes Herzogenaurach an. Nach HAARLÄNDER (1971) ist der Grenzletten an der Basis an einigen Stellen aufgeschlossen, aber meist von Hangschutt bedeckt.

Die Lehrbergsschichten bestehen generell aus roten, bröckeligen Tonen bzw. Letten. In die tonigen, örtlich gipsführenden Lehrbergsschichten schaltet sich nach Süden hin eine sandige Fazies ein, die als Ansbacher Sand-

stein und als Lehrbergsandsteine bekannt sind.

Die chemische Analyse der Fraktionen unter 2 mikro m Durchmesser für die Ziegelei Ankele in Siegeldorf(westlich Vach) wurde durch das Institut für Ziegelforschung Essen durchgeführt;die Ergebnisse sind in der Erläuterung des Blatts Herzogenaurach (S.16) wiedergegeben.Die Analyse des Mineralbestandes der gleichen Fraktionen zeigt,daß sie fast zu 100% aus Illit bestehen.

Nach SCHNITZER (1953) erfolgt oft eine Umfärbung innerhalb der roten Ablagerungen von Rot nach Grün.

Bei der Bohrung 13 des Kraftwerks Franken II(siehe Anlage 1) treten die Lehrbergschichten ab 278.3 m NN auf;sie haben eine Mächtigkeit von 10.3 m.Bei der Bohrung 12, die ca. 100 m südlich von B 13 liegt,wurden die Lehrbergschichten mit 20.0 m Mächtigkeit erbohrt.An dieser Stelle bestehen die Lehrbergschichten überwiegend aus Ton mit Sandsteineinschaltungen.Die Tone sind rot und grün,die Sandsteineinschaltungen grau bis grün, feinkörnig und tonig.

Die Brunnenprofile der Eltersdorfer Gruppe,die südlich Königsmühle liegen,zeigen,daß die Lehrbergschichten bei 268.3 m NN auftreten und von den Quartärfüllungen verhüllt sind.Die Tone sind dort rot,grün und rot-braun.

3.2.1.2.Sandsteinkeuper

Über den tonigen Lehrbergschichten folgt der Sandsteinkeuper.Die gesamte Mächtigkeit des Sandsteinkeupers beträgt 160 m (POLL,1978).

3.2.1.2.1.Blasensandstein,kmBl

Der Sandsteinkeuper beginnt mit dem Blasensandstein;er tritt im gesamten Arbeitsgebiet auf.HAARLÄNDER(1971) hat das Einfallen beim Aufschluß nördlich Kriegenbrunn mit im Durchschnitt bis 3 Grad bestimmt.

BIRZER(1940) hat am ehemaligen Steinbruch an der Straße nach Hütten-dorf folgendes Profil veröffentlicht:

Geländehöhe 310 m NN (Profilfolge von oben nach unten)

- | | | |
|-------|---|---|
| 1.0 - | m | Sandsteinbänke braun,hart,löcherig,verwitternd;untergrenze in der Höhenlage schwankend. |
| 2.5 | m | Sandstein,mittelkörnig,weißrötlich,mürbe mit herauswiternden härteren,karbonatisch verfestigten Teilen. |
| 1.0 | m | Letten rot,grün,sandig,nach Osten zu auskeilend. |
| 2.5 | m | Sandstein mittelkörnig,weiß,mürbe. |
| 2.0 | m | Letten rot,bei Bauarbeiten erschlossen. |

HAARLÄNDER (1971) hat den Blasensandstein wie folgt beschrieben: Die Sandsteine sind rötlich, weiß, violett, hellbraun, rostbraun, fein- bis mittelkörnig, mürbe, weich bis hart, je nach Körnung und Bindemittel, z.T. karbonatisch-knollig, mit Manganflecken getupft, z.T. lettig, aber auch quarzitisch, häufig kreuzgeschichtet. Die Tonsteineinschaltungen sind rot, mit grünen und violetten Verfärbungen.

Nach POLL (1978) bilden die Basisschichten (Blasensandstein) eine wichtige Grenze zwischen dem Aquifer des Sandsteinekeupers und grundwasserstauenden Lehrbergsschichten darunter.

3.2.1.2.2. Coburger Sandstein, kmC

Im westlichen Teil des Arbeitsgebietes kommen die Coburger Sandsteine über dem Blasensandstein zur Tage. Im Vergleich zum Blasensandstein zeigt der Coburger Sandstein mehr tonige Ausbildung. Unter der Basis des Coburger Sandsteins ist durchgehend ein Lettenband zu finden; es wird durch den Dachletten des Blasensandsteins gebildet (HAARLÄNDER, 1971).

Über dem Coburger Sandstein folgt der untere Burgsandstein mit dem Basisletten. Die Basisletten sind als grüngraue Letten zu erkennen.

Der Coburger Sandstein hat im untersuchten Raum eine Mächtigkeit von etwa 10,0-15,0 m zwischen beiden Letten.

Nach HAARLÄNDER, 1971 erscheint der Coburger Sandstein morphologisch als eine Verebnung, die sich über dem Blasensandstein als niedrige Stufe bemerkbar macht.

Der Coburger Sandstein ist meist gelbbraun, hellgrau und mürbe.

3.2.1.2.3. Unterer Burgsandstein, kmBu

Im westlichen Teil des untersuchten Raumes (Blatt Herzogenaurach) sind nur Ablagerungen des unteren Burgsandsteins anzutreffen. Der untere Burgsandstein beginnt mit sandigen Letten von grüngrauer und roter Farbe. Die rötlichen, tonigen Basisletten des unteren Burgsandsteins mit ihren karbonatischen Klauern sind in den Bohrungen an der Kreuzung Paul-Gossen Str. / Kulere Brucker Str. in Erlangen anzutreffen (HAARLÄNDER, 1971) und auf Feldern und Waldböden in der Umgebung von Hüttendorf. Jüngere Schichten des Burgsandsteins treten im Arbeitsgebiet nicht mehr auf; sie sind durch die Erosion bereits entfernt.

3.2.2. QUARTÄR

3.2.2.1. Pleistozän

3.2.2.1.1. Restschutt

Im untersuchten Raum befinden sich einige jüngere aber jetzt längst abgetragene Gesteine des Lias und Doggers; sie haben sich in Resten erhalten. Die scharfkantigen Schuttreste liegen mit dunklen Lyditen zusammen zwischen Büchenbach und Steudach (nordwestlich des Arbeitsgebietes). Die harten quarzitischen Stücke des Angulatensandsteins und Toneisensandsteine aus dem Lias und Dogger sind typisch für den Restschutt. Das Lias-Alter wurde durch Abdrücke von *Cardinia acuminata* MART. und das des Dogger Beta mit *Pecten personatus* LAM bestimmt (HAARLÄNDER, 1971).

3.2.2.1.2. Hochgelegene Schotter, Schotter mit großen Lyditen, Schotter schleier

Die Lydite mit fluvialer Herkunft stammen aus dem Frankenwald und beweisen die ehemalige Nord-Süd-Entwässerung der Regnitz (HAARLÄNDER, 1971). Die hochgelegenen Schotter führen bunte, scharfkantige Gneise und Mieselhölzer. Nach SCHRÖDER (1968) sind die Hochschotter mit Lyditen um Steudach und Büchenbach (NW des Arbeitsgebietes) älter als die Oberterrasse, also älter als Riß-zeitlich.

3.2.2.1.3. Terrassen

Sandterrassen begleiten im untersuchten Raum die Regnitz. Nach BILZER (1951; in REICHEL, 1961, S. 10) werden die Sandterrassen in ihren oberflächennahen Schichten in geringer Mächtigkeit mit einem hohen Anteil der Korngröße 0,4 mm aufgebaut. Zum Liegenden hin werden die Sande gröber (1.-1,1 mm); der Kiesanteil nimmt ebenfalls zu.

Es liegen uns viele Arbeiten über das Altersproblem der Terrassen vor: BLANKENHORN (1896) stellte die Sandterrassen der Regnitz der obersten Hoch- und Nieder-Terrasse gleich.

DORN (1930), RÜCKERT (1933), BINDER (1940) bezeichnen die oberliegende Terrasse als Oberterrasse und die tiefer liegende als Hauptterrasse.

KRUMBECK (1948, 1950) hat die Haupt- und Vorterrasse ins Würm eingestuft. BRUNNACKER (1955, 1959), DEHM (1966) folgten ihm. SCHRÖDER und PILL (1970) haben am Membacher Weg festgestellt, daß die Oberterrasse eine Elbeisstufe alter und als Riß anzusprechen ist.

Nach BRUNNACKER (1955) gehört die obere Vorterrasse in die jüngere Würm-Ärenzeit des Spätglazials.

Schröder (1968) bezeichnet die untere Vorterrasse als Holozän und nimmt für die ältesten Lyditführenden Schotter eine Aufschüttung wohl mindestens im Riß oder älter an.

3.2.2.1.3.1. Oberterrasse, q0

Im untersuchten Raum ist die Oberterrasse links der Regnitz anzutreffen. Sie besteht aus Sandablagerungen mit Geröllen. Die Sande sind meist mittelkörnig, gelb bis hellbraun. Die Gerölle setzen sich aus Quarzen von ca. 1 cm Durchmesser und aus Stücken verkieselten Sandsteins und Juramaterial zusammen.

Nach POLL (1976) muß die Oberterrasse mindestens ein Glazial älter sein als die Hauptterrasse und eine Einstüzung in das Riß-Glazial ist die wahrscheinlichste Ableitung für die Akkumulation des Materials der Oberterrasse.

Zahlreiche Bohrungen und der Aushub der Kanalbettes gaben Einblick in die Sandauflage. Die Mächtigkeit schwankt, im allgemeinen verringert sie sich nach Süden hin.

Die Bohrung 94 wurde durch das Tiefbauamt Erlangen im Jahre 1981 durchgeführt und gab das unten angegebene Ergebnis: sie erreicht den Keuper nicht. Die Meternahlen beziehen sich auf Tiefen unter der Geländeoberfläche. (Ansatzhöhe: 288,0 m NN)

- 0,8 m Sand, graubraun
- 1,1 m Sand, schwach schluffig, Schlufflinsen, graubraun
- 3,5 m Sand, kiesig, dünne Kiesbänder, graubraun
- 4,0 m Sand, schluffig, fein-mittelkiesig, grau

Die Bohrung 81 liegt im Main-Donau-Kanal (Ostseite der Schleuse) und auf der Oberterrasse. (Ansatzhöhe: 296,98 m NN)

- 0,3 m Mutterboden (Wald)
- 0,6 m Fein bis Mittelsand, bindig

Auch diese Bohrung erreichte den Keuper nicht.

3.2.2.1.3.2. Hauptterrasse, qH

Die Hauptterrasse ist im ganzen Arbeitsgebiet auffällig weit verbreitet, sie besteht meist aus gelben bis weißen Sanden mit Geröllen und bunten Quarzen.

Nach den Befunden von BRUNNACKER (1955, 1959), DEHM (1960) und KRUMBECK (1950) ist die Hauptterrasse eine Akkumulation im Würm-Glazial. Damit ist die Hauptterrasse synonym zur Niederterrasse des Rhein-Systems.

Die Mächtigkeit der Ablagerungen der Hauptterrasse nimmt nach Süden zu. Im Raum Eltersdorf, nördlich der Siedlung, beträgt sie 4,7 m, am südlichen Ende der Ortschaft 5,6 m über der Talaue.

Die Bohrungen, die auf der Hauptterrasse durchgeführt worden waren, gaben Einblick in die Sand- und Kiesablagerungen der Hauptterrasse.

Die Bohrung 137 wurde durch LGA für das Bauvorhaben Kraftwerk Franken II in ihrer Umgebung durchgeführt: (Ansatzhöhe: 282.5 m NN)

- 0.2 m Mutterboden, locker, schwarzbraun
- 0.9 m Mittelsand, locker, hellbraun
- 1.5 m Mittelsand, kiesig, mitteldicht, gelbbraun
- 2.1 m Sand, stark kiesig, dicht, schwach schluffig, hellbraun
- 3.0 m Schluff, stark feinsandig, steif, halbfest, rotbraun, grau.

Die Brunnenfassungen Stadt Erlangen der Eltersdorfer Gruppe liegen auf der Hauptterrasse. Brunnen 1, der hier 152 genannt wird, lieferte folgende Ergebnisse: (Ansatzhöhe: 285.336 m NN)

- 6.0 m Sand, gelb
- 8.0 m Mittelsand, gelb
- 10.0 m Sand, gelb, kiesig
- 13.5 m Grobsand, kiesig
- 17.6 m Sand, gelb, leutig, Gerölle.

Südlich der Westfassungen liegen die Brunnen der Ostfassungen in der Nähe von Mannhof auf der Hauptterrasse. Brunnen 5, der hier B156 genannt wird, gab folgende Ergebnisse: (Ansatzhöhe: 288.203 m NN)

- 0.65 m Mittelsand, gelb
- 1.75 m Feinsand, weiß
- 2.75 m Grobsand, weiß mit Kieslagen
- 13.0 m Mittelsand, weiß
- 14.2 m Mittelsand, weiß mit Gerölleinlagerungen.

Um die Mächtigkeit der Ablagerungen der Hauptterrassen zu bestimmen, sind einige geophysikalische Messungen durchgeführt worden (vgl. dazu Kap. 4).

3.2.2.1.4. Flugsand und Dünen

Die auffälligsten Flugsandbedeckungen liegen nördlich von Mannhof im untersuchten Raum. Wegen der Bebauungen werden sie in ihrer Verbreiterung immer geringer. HAARLÄNDER (1971) hatte die Flugsande als hellbraun und mit unterschiedlichen Korngrößen beschrieben. Das Material stammt aus den Aufschüttungen der Terrassen und den Sanden der verwitterten Keupersandsteine und wurde von den Westwinden eingeweht.

Die Dünen überlagern die Hauptterrasse und sind jünger als diese. Nach KRUMBECK (1950) ist die Entstehungszeit spätglazial und nach BRUNNACKER (1955) in die Ältere und Jüngere Tundrenzeit zu stellen.

3.2.2.2. Holozän (Alluvium)

3.2.2.2.1. Talfüllungen

Die weite Regnitzau wird fast jedes Jahr durch Hochwasser überschwemmt.

Die Überschwemmungskarte wurde im Jahr 1971 von Herrn Prof.Dr.POLL dargestellt(siehe Anlage 4).Feinsandige Lehme und toniger Sand überschütten dabei die Talböden und die hellen und dunkelbraunen holozänen Sande.

Die Mächtigkeit der Talfüllungen sind sehr unterschiedlich.Nach POLL (1978) sind die Ursachen dafür wie folgt:Die Eintiefung der Regnitz und ihrer Tributäre in den Keuperuntergrund ist nicht überall gleichmäßig erfolgt und der historische Ablauf der Talentwicklung beeinflusste die Mächtigkeit der quartären Lockergesteine entscheidend.

Auf den Talfüllungen sind nur wenig Bohrungen durchgeführt.Im nördlichen Teil des Gebietes wurden durch die LGA für die Bauvorhaben des Kraftwerkes einige Bohrungen durchgeführt.Die Bohrung 147 lieferte folgende Ergebnisse:(Ansatzhöhe:275.4 m NN)

- 0.3 m Mutterboden,weich,dunkelbraun
- 1.1 m Schluff,stark feinsandig,schwach tonig,weich,braun
- 5.1 m Mittelsand,schwach kiesig und schluffig,locker,graubraun
- 7.9 m Sand,stark kiesig,locker,graubraun
- 13.9 m Kies,sandig,schwach schluffig,mittel/dicht,graubraun
- 17.6 m Sand,schwach schluffig und kiesig,mittel/dicht,graubraun
- 18.7 m Mittelsand,schwach schluffig,mitteldicht,graubraun
- 19.6 m Sand,schluffig,schwach tonig,schwach feinkiesig,dicht,grau
- 22.0 m Schluff,tonig,feinsandig,fest,rotbraun

An Hand von Stichproben wurden diese Angaben überprüft und der zugehörige Ungleichförmigkeitsgrad (U) ermittelt:

Bei der Tiefe	4.0-4.2 m	U=2.6	Grob-Mittelsand
	9.8-10. m	U=12	Sand,stark kiesig
	14.8-15. m	U=3.6	Grob-Mittelsand

Im südlichen Bereich des Arbeitsgebietes befinden sich fast keine Bohrungen,sondern nur einige Pegel,die nicht den Keuper erreichen.Um die Mächtigkeit der Talfüllungen auch hier klar zu erfassen,wurden geophysikalische Messungen durchgeführt ((siehe Kap.4).

Die Pegel befinden sich nördlich von Mannhof auf den Talfüllungen.Sie geben Einblick in die oberflächennahen Schichten der Talfüllungen.Beim Pegel,der als Bl70 auf der Karte(siehe Anlage 1) dargestellt ist,sind folgende Schichten erbohrt worden:(Ansatzhöhe:279.8 m NN)

- 0.6 m Mutterboden,dunkelgrau
- 1.4 m Feinsand mit Mittelsand,braun
- 2.8 m Mittelsand mit Grobsand,hellgrau
- 3.- m Grobsand mit Fein-Mittel-und Grobkies,braun

-6.3 m Grobsand mit Feinkies, gelbbraun

-6.7 m Grobsand mit Fein- und Mittelkies, braun.

Die Talauen geben vielfach ertragreiches Wiesen- und Weideland. Infolge hohen Grundwasserstandes, bei dem die pflanzliche Substanz nicht völlig verwest, werden die pleistozänen wie holozänen Aufschüttungen stark humos.

3.3. Lagerungsverhältnisse (Tektonik)

Im untersuchten Raum handelt es sich um einfache tektonische Verhältnisse. Die Schichten fallen generell von W nach E mit ca. 1° Grad Neigung ein. Im Einzugsgebiet des Regnitztalzuges bestehen starke Niveaudifferenzen (POLL, 1978). In der Südwestecke des Blattes liegt die Grenze Blasensandstein/Lehrbergsschichten am höchsten, bei etwa 335 m NN; eine Tiefenbrüche im nördlichen Teil des Gebietes bei Bruck/Erlangen traf die Oberfläche der Lehrbergsschichten bei 256.6 m NN an (v. FREYBERG, 1936).

Das Lagerungsbild zeigt eine Aufwölbung im südlichen Teil des Gebietes. Die im Regnitztalzug auftretenden Verwerfungen, die im untersuchten Raum nicht anzutreffen sind, sind nach POLL (1978) jünger als die Verbiegungen und können als fortdauernde, potenzierte tektonische Beanspruchung gedeutet werden.

4. GEOPHYSIKALISCHE METHODEN

Um die geophysikalischen Verhältnisse zu erläutern, genügen die Bohrungen für den untersuchten Raum nicht ganz. Die für bestimmte Zwecke von verschiedenen Firmen und Ämtern durchgeführten Bohrungen haben sich auf bestimmte Gebiete konzentriert. Es war wünschenswert, die Aufschlüsse durch geophysikalische Messungen zu verdichten. Von den geophysikalischen Aufschlußmethoden boten sich Seismik und Geoelektrik an. Dadurch sollte man Informationen über Aufbau, Ausdehnung und Mächtigkeit der Quartärfüllungen bekommen und den GW-Flurabstand bestimmen.

Die beiden Methoden der Geophysik liefern jede für sich allein ein geophysikalisches Ergebnis, dessen geologische Deutung nicht immer leicht möglich ist. Um die Mehrdeutigkeiten der Ergebnisse möglichst auszuschließen, ist es empfehlenswert, an gleichen Stellen beide Methoden durchzuführen.

An den Stellen, wo es möglich war, wurden beide Methoden der Geophysik zusammen durchgeführt. An bestimmten Stellen, wie in der Nähe der Autobahn Nürnberg-Würzburg und in der Nähe des Kraftwerks Franken II, war das Gelände für die geophysikalischen Untersuchungen nicht geeignet, d.h. ein zu unruhiges Gelände für die Seismik und ein durch Hochspannungsleitungen

und Rohre elektrisch gestörtes Gelände für die Geoelektrik.

Nach den folgenden Erläuterungen der beiden Methoden mit speziellen Problemen im untersuchten Raum werden die Ergebnisse miteinander verglichen.

4.1. REFRAKTIONSEISMIK

Die Refraktionseismik, die nur im folgenden Seismik genannt wird, bietet im Vergleich zur Geoelektrik eine rasche und nicht mehrdeutige Interpretation. Dagegen ist es aber sehr arbeitsaufwendig, ein Seismikprofil durchzuführen. Der große Vorteil der Seismik ist, auch einfallende Horizonte mit Hilfe des Gegenschußverfahren festlegen zu können; die Kontrolle wird mit dem Gegenschußverfahren vorgenommen. Im Bereich des Talrandes besteht die Möglichkeit, den Verlauf der geneigten Quartärbasis und somit deren Einfallen zu bestimmen.

4.1.1. Das Prinzip der Refraktionsseismik

Das Prinzip der Refraktionseismik ist die Erzeugung von Wellen und die refraktierten Wellen mit Hilfe der Geophone zu diagnostizieren. Für die Wellen gelten Reflexions- und Brechungsgesetze wie in der Optik. Für die austretenden Reflexions- und Brechungswinkel gelten die folgenden Gleichungen, die dem Brechungsgesetz in der Optik entsprechen (Abb. 4/1):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{V_1}{V_2} \quad (4.1)$$

α = Einfalls- bzw. Reflexionswinkel

β = Brechungswinkel

α_c = kritischer Winkel

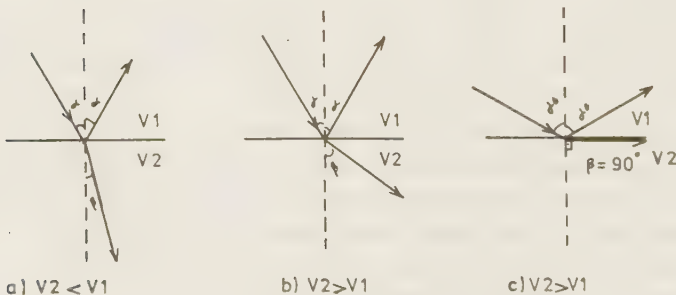


Abb. 4.1: Reflexion und Brechung seismischer Wellen

Unter kritischem Winkel (α_c) erreicht man die damit verbundene kritische Refraktion, die nach dem HUYGENSSchen Prinzip die Ausbildung einer Welle (Kopfwelle, Mintropwelle) bewirkt. Sie läuft mit der Geschwindigkeit V_2 an der Schichtgrenze der beiden Medien entlang. Ihre Wellenfront breitet sich in der ersten Schicht mit der Geschwindigkeit V_1 aus. Die Schichtgrenze wird Refraktionshorizont genannt. Das Auftreten refraktierter Wellen an einer Schichtgrenze ist nur dann möglich, wenn die Geschwindigkeit im unteren Medium größer ist als im oberen Medium, da es andernfalls keinen kritischen Winkel gibt.

In der Abbildung 4/2 ist der für die Refraktionseismik typische Verlauf der seismischen Strahlen dargestellt.



Abb.4/2: Typischer Verlauf der seismischen Strahlen bei der Refraktionseismik (α : Einfallswinkel, β : Brechungswinkel, α_c : kritischer Winkel)

4.1.2. Seismische Analyse

Eine seismische Wellenform zeigt Erdbewegungen bei dem Empfänger als Funktion der Zeit. Im Prinzip, wegen der unterschiedlichen Wellenwege, sind die Laufzeiten auch unterschiedlich. In Abb.4/3 ist ein Feldaufnahme-Beispiel (S26 westlich von Eltersdorf) mit dem Gerät BISON 1580-Chart wiedergegeben.

Die Laufzeiten für die direkte Welle und für die refraktierten Wellen werden gegen die Abstände "Schußpunkt-Geophon" aufgetragen, ergeben sich die Laufzeitkurven (siehe Abb.4/4). Die Geschwindigkeiten, die man von den Ästen der Laufzeitkurven erhält, lassen sich auf einfache Weise in die wahren Geschwindigkeiten umrechnen.

Für die Geschwindigkeitswerte sind von mehreren Autoren Tabellen erstellt worden. Die in der Tabelle 4/1 angegebene Werte sind von JAKOSKY (1950) entnommen (Bison instruments, 1977).

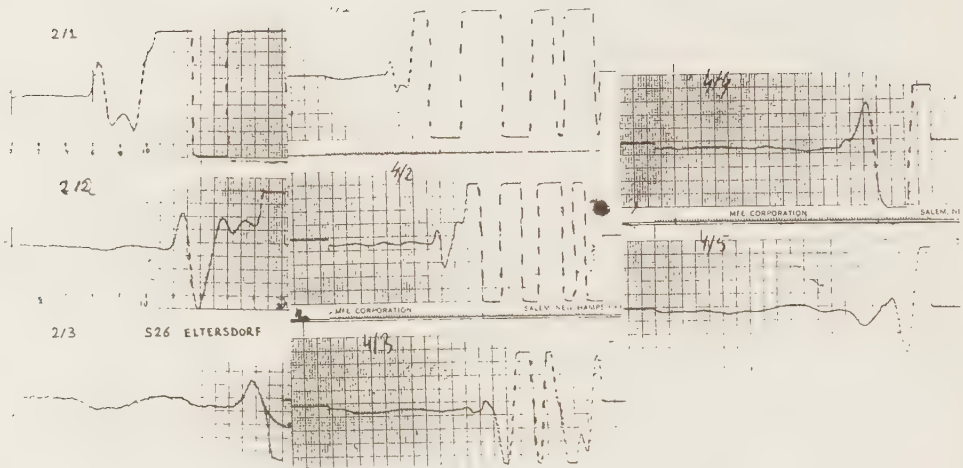


Abb.4/3 : Seismische Feldaufnahme (S 26) bei Eltersdorf/Erlangen;
zur geographischen Lage vgl. Anlage 1

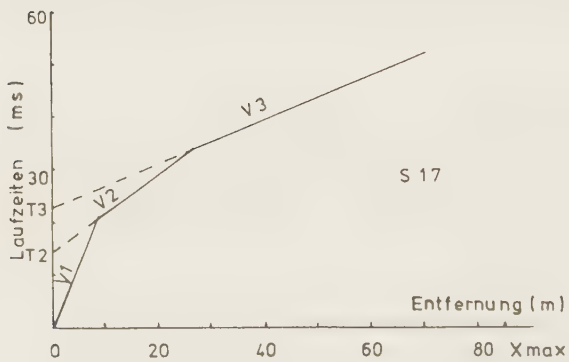


Abb.4/4 : Laufzeitkurve des Seismik-Profiles S 17

MATERIAL	GESCHWINDIGKEITEN (m/s)	
verwittertes Oberflächen-Material	305-610	
es, Schutt oder Sand (trocken)	468-915	
nd (naß)	610-1830	
n	915-2750	
	ALTER	ART DER GESTEINE
asser (abhängig von Temperatur d Salzhalt)	QUARTÄR	Sediment (unterschiedliche Verbindung)
ndsteine	1430-1680	305-2290
lkstein	1830-3970	TERTIÄR
anit	2140-6100	MESOZOIK
amorphgesteine	4580-5800	PALEOZOIK
	3050-7020	ARCHEOZOIK
		Unterschiedlich
		3810-7020
A. Klassifikation gemessen in Material		B. Klassifikation nach geologischem Alter

	(0-600 m)	(600-900 m)	(900-1200 m)
DEVONIAN	4060	4090	4120
PENNSILVANIA	2900	3420	3570
PERM	2600	3050	-
KREIDE	2260	2840	3260
EOZÄN	2170	2750	3080
PLEISTOZÄN bis			
OLIGOZÄN	1900	2200	2470

C. Klassifikation in Abhängigkeit von der Tiefe

Tabelle 4/1 :Typische Geschwindigkeitswerte von verschiedenen Gesteinen und geologischen Formationen sowie für verschiedene Tiefen. (JAKOSKY, 1950)

Die folgende Aussagen sind Näherungsangaben, die allgemeine Erfahrungswerte sind; und zwar sind allgemein die Geschwindigkeitswerte größer in

- Sedimentgesteinen als in lockeren Sedimenten
- wasser-gesättigten lockeren Sedimenten als im wasser-freien lockeren Sedimenten
- Naß-Gesteinen als in trockenen Gesteinen
- unverwitterten Gesteinen als in verwitterten Gesteinen
- älteren Gesteinen als in jüngeren Gesteinen.

Abb.4/5 (a) weist auf eine Zweischichten-Laufzeitkurve hin. Die Messpunkte liegen annähernd auf zwei-geraden Linien, von denen die Geschwindigkeiten bestimmt werden. Da die erste Linie die Geschwindigkeit in der ersten Schicht aufweist, läuft sie durch den Ursprung der Koordinaten; die zweite Linie, die die Geschwindigkeit in der zweiten Schicht aufweist, schneidet die Zeitachse an einem positiven Punkt, welcher Intercept-Time (=TI oder auch t_i) genannt wird. Der Abstand XC wird als Überholungsentfernung bezeichnet (siehe Abb.4/5).

Eine Laufzeitkurve, wie sie in Abb.4/5 (a) dargestellt wird, dürfte von einer Struktur, wie in Abb.4/5 (b), stammen, d.h. von 2 übereinander liegenden horizontalen Schichten.

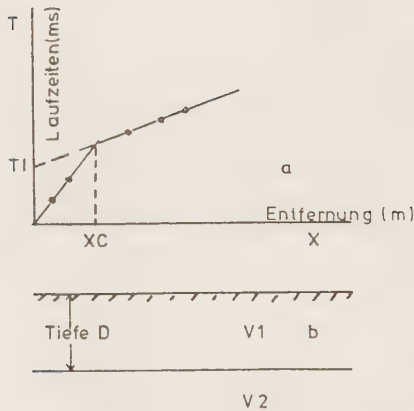


Abb.4/5 : Laufzeitkurve für den Zweischichten-Fall

Da die Geschwindigkeiten, Überholungsentfernung und Intercept-Time, von der Laufzeitkurve bestimmt werden, kann mit den unten angegebenen Formeln auf einfache Weise die Mächtigkeit (D) der ersten Schicht berechnet werden:

$$D = V1 \times TI \times (1/2 \times V2 / \sqrt{(V2^2 - V1^2)}) \quad (4.2)$$

$$D = XC \times 0.5 \times \sqrt{\frac{(V2 / V1) - 1}{(V2 / V1) + 1}} \quad (4.3)$$

D: Die Mächtigkeit der ersten Schicht (m)

V1: Die Geschwindigkeit in der ersten Schicht (m/s)

V2: Die Geschwindigkeit in der zweiten Schicht (m/s)

TI: Intercept-Time (s)

XC: Überholungsentfernung (m).

Die Wahl zwischen beiden Gleichungen ist freigestellt, man bekommt die gleichen Ergebnisse.

Abb.4/6 stellt die Laufzeitkurve von S 31 (Lage des Profils; siehe Anlage 1) dar, bei der der Gegenschuß nicht berücksichtigt wurde. Dadurch wird demonstriert, daß beide Gleichungen etwa die gleichen Werte ergeben:

Gleichung (4.2) $D = 3.195 \text{ m}$

Gleichung (4.3) $D = 3.157 \text{ m}$

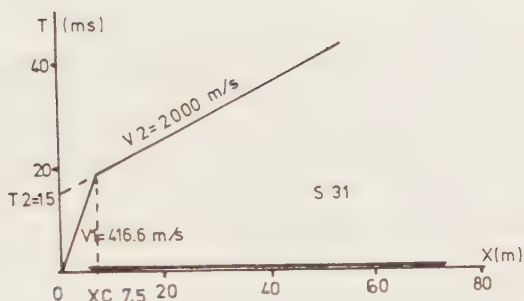


Abb.4/6 : Die Laufzeitkurve des Profils S 31 bei Eltersdorf

Ein weiteres Problem bei der Aufnahme der Seismik-Profile ist, für welche Lage auf dem Profil die berechneten Tiefen gelten. Die richtige Antwort wird durch die seismischen Wellenwege gegeben. Die Lokation wird in der Abb.4/7 mit der dicken Linie dargestellt. Der Abstand (L) wird durch die unten angegebene Gleichung berechnet:

$$L = (XC/2) \times (1/(V2/V1) + 1) \quad (4.4)$$

Für das Seismik-Profil S 31 wurde dadurch ein Wert von

$$(XC = 7.5 \text{ m})$$

$$L = 6.7 \text{ m}$$

berechnet.

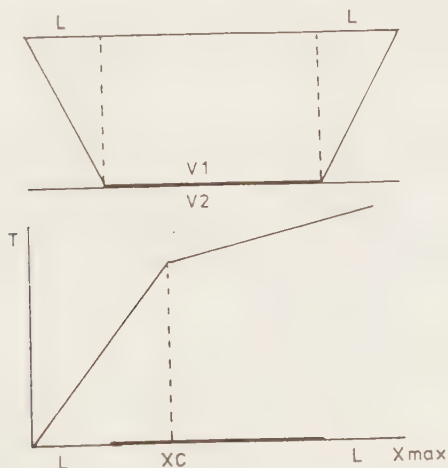


Abb.4/7 : Lage der berechneten Struktur auf dem Profil

überholungsentfernung vorkommt, könnte diese V2-Linie übersehen (Abb. 4/8 (B)) werden.

Für eine noch dünnere zweite Schicht würde eine Laufzeitkurve wie in der Abb. 4/8 (C) aussehen und die Laufzeitkurve gibt keine Information über die zweite Schicht, dann wird die dritte Schicht als zweite Schicht angenommen und analysiert. Damit würde eine fehlerhafte Tiefe berechnet. Für das Auftreten einer mittleren Schicht kann es verschiedene Hinweise geben, die uns aufmerksam werden lassen. Durch eine Zwischen Schicht werden nicht nur die Tiefenwerte, sondern auch die V2-Werte Fehler beinhalten. Die Ursachen dafür können z.B. sein :

- die berechnete Tiefe stimmt nicht mit der erwarteten Tiefe überein
- die in der Mitte liegende Schicht ist von Bohrungen oder von anderen Methoden der Geophysik her bekannt.

In solchen Fällen wird die Laufzeitkurve folgendermassen behandelt:

Ohne die vermutete V2 wird die Laufzeitkurve als Zweischichtfall behandelt und mit V1 und V3 analysiert; daraus ergibt sich die minimale Tiefe D2. Die vermutete V2-Linie wird dann auf der Laufzeitkurve wie in der Abb. 4/8 (C) aufgezeichnet und daraus ergibt sich die maximale Tiefe D2. Die wahre Tiefe befindet sich zwischen diesen Werten.

Für den untersuchten Raum ist dieser Fall bei manchen Profilen vorgekommen. Wegen den bei den benachbarten Messungen und Bohrungen auftretenden Schichten liegt die Vermutung nahe, daß hierauch dieselbe Schichtfolge existieren dürfte.

Bei S 29 liegt z.B. die Vermutung nahe, daß eine Schicht zuwenig registriert wurde. Die Kurve S29 stellt auf ersten Blick eine Zweischichtfall dar, mit den Geschwindigkeiten 333.33 m/s und 2222.22 m/s. Das in der Nähe liegende Profil S3 zeigt dagegen eine Dreischichtfall. Da für die zweite Schicht eine Geschwindigkeit von 1428.57 m/s bestimmt war, könnte diese Schicht beim Profil S29 fehlen. Um diese Frage zu klären, wurden bei S29 zwei Möglichkeiten diskutiert:

1. Abb. 4/9 (A) : Die zweite Schicht ist total übersehen worden; Ohne Berücksichtigung der 2. Schicht mit einer Geschwindigkeit von 1428.57 m/s ergibt sich für die Mächtigkeit der minimale Wert

$$D2 = 10.95 \text{ m}$$

Mit Berücksichtigung der 2. Schicht mit Geschwindigkeit von 1428.57 m/s ergibt sich für die Mächtigkeit der maximale Wert

$$D2 = 14.00 \text{ m}$$

$VA1, VA2, \dots$ = Geschwindigkeiten der Schicht- $VB1, VB2, \dots$ = Geschwindigkeiten der
ten im Schuß-Verfahren Schichten im Gegen-

Schuß-Verfahren

$TAI2, TAI3, \dots$ = Intercept-Time im Schuß-
verfahren

$TBI2, TBI3, \dots$ = Intercept-Time im
Gegenschuß-Verfahren

$TAI1=0$

$TBI1=0$

"Die Laufzeiten sind in Millisekunden und Schußpunkt-bzw. Gegenschußpunkt-
Geophon-Entfernungen in m (Meter) aufgezeichnet."

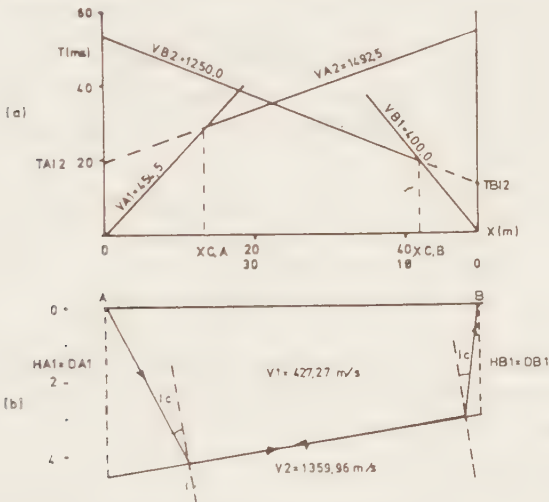


Abb.4/10 : Laufzeitkurve des Profils S 88

In der Abb.4/10 (a) ist eine Laufzeitkurve für einen Zweischichtfall mit geneigter Grenze dargestellt. Die Laufzeitkurve gehört zum Profil S88 und ist nur für die ersten 2 Schichten dargestellt. Um eine derartige Laufzeitkurve auszuwerten, werden folgende Werte aus der Laufzeitkurve genommen:

-Die Geschwindigkeiten

-in der 1. Schicht $VA1=VB1=V1$ (10% Abweichung ist zugelassen;
wenn die Geschwindigkeiten im ersten Schicht im Schuß und im Gegen-
schuß nicht gleichwertig sind, gilt die Gleichung (4.6-1).

$$V1 = (VA1 + VA2) / 2 \quad (\text{m/s}) \quad (4.6-1)$$

-in der 2. Schicht $VA2, VB2$

wenn $VA2=VB2$: horizontale Schichtgrenze

$VA2 \neq VB2$: geneigte Schichtgrenze

-die Überholungsentfernungen XCA, XCB

-die Intercept-Time TAI2, TBI2 (TAI1=TBI1=0; direkte Welle)

Die Mächtigkeit der ersten Schicht und die wahre Geschwindigkeiten (V1 und V2) werden durch die Gleichungen (4.6-1, 4.5, 4.6-2, 4.7, 4.8, 4.9 und 4.10) berechnet:

$$\Theta = 1/2 \times (\sin^{-1}(V1/VB2) - \sin^{-1}(V1/VA2)) \quad (4.5)$$

$$V2 = 2 \cos \Theta \times (VA2 \times VB2 / (VA2 + VB2)) \quad (4.6; 2)$$

$$DA1 = V1 \times TAI2 / \cos \Theta \times (V2 / (V2^2 - V1^2)) \quad (4.7)$$

$$DB1 = V1 \times TBI2 / \cos \Theta \times (V2 / (V2^2 - V1^2)) \quad (4.8)$$

oder durch die Gleichungen für ^{die} Überholungsentfernung:

$$DA1 = (XCA / 2 \cos \Theta) \times ((V2 - V1 \times \cos \Theta) / (V2^2 - V1^2)) + XCA / 2 \tan \Theta \quad (4.9)$$

$$DB1 = (XCB / 2 \cos \Theta) \times ((V2 - V1 \times \cos \Theta) / (V2^2 - V1^2)) - XCB / 2 \tan \Theta \quad (4.10)$$

Darin bedeuten die;

V1 und V2 = Die Seismik-Geschwindigkeiten in 1. und in 2. Schichten

Θ = Einfallswinkel der Schichtgrenze

DA1 = Die Tiefe auf der Schußseite

DB1 = Die Tiefe auf der Gegenschußseite

Auf den ersten Blick kann man bei der Laufzeitkurve feststellen, ob die Schichtgrenze abwärts, aufwärts oder horizontal läuft. Die Grenze zwischen beiden Schichten ist bei dem Fall

-XCB größer als XCA

-TBI2 größer als TAI2

-VB2 größer als VA2 abwärts, im umgekehrten Fall aufwärts (vgl.

Abb. 4/10); wenn sie einander gleich sind dann liegt sie horizontal.

Für die seismischen Analysen gibt es noch mehrere Probleme, auf die in untersuchten Raum selten gestoßen wurde. Hier wurden die wichtigsten dargestellt und erläutert.

Bei den Laufzeitkurven sollen Laufzeiten annähernd auf einer Geraden liegen. Bei Festgesteinen, Tonschichten und in lockeren uniformen Sedimenten ist das meistens der Fall. In den lockeren Sedimenten, die nicht uniform sind, liegen die Laufzeiten nicht auf einer Geraden.

In der Abb. 4/11 ist die Laufzeitkurve von S 34 dargestellt. Beim Schußteil (A-Seite) für die erste Geschwindigkeit, die von direkten Wellen dargestellt wird, stehen die Laufzeiten auf einer geraden Linie, die durch den Origin der Achsen verläuft. Dagegen werden bei dem Gegenschußteil (B),

da vermutlich die Basis der ersten Schicht mehr oder weniger dünn und schluffig ist, die Wellen früher erscheinen als erwartet.

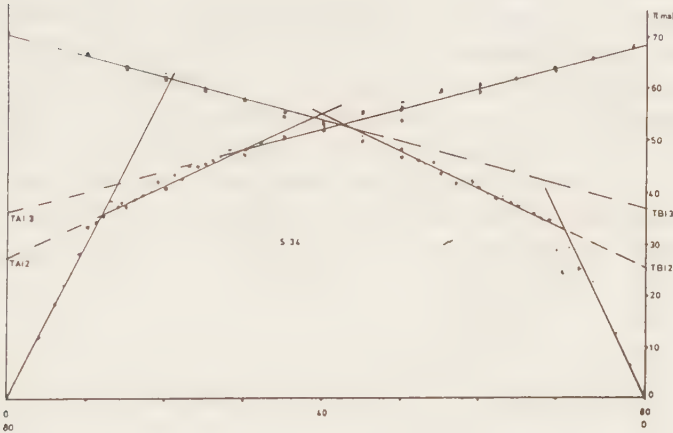


Abb.4/11 : Die Laufzeitkurve des Profils S 34;Schuß(A-Teil)und Gegenschuß(B-Teil)

Da wir beim A-Teil zuverlässig die Geschwindigkeit für die erste Schicht berechnen können, ist es nicht schwer, beim B-Teil auch die gleichen Geschwindigkeiten zu berechnen, die etwa die gleichen Werte haben sollen. In der zweiten Schicht, die Grundwasserführende Sandschichten aufweist, zeigen die Laufzeiten auch Unterschiede, d.h. sie liegen nicht exakt auf einer Geraden. Daher legt man eine Regressionsgerade durch die Laufzeiten. Die Geschwindigkeit der Schicht und die Mächtigkeit der Schicht, von denen die Intercept-Time abhängt, beeinflussen die Lage der Regressionsgeraden. Aus diesen Gründen sollte die Regressionsgerade vorsichtig gelegt werden. Dafür sollten die benachbarten Seismik-Messungen mit ihren Geschwindigkeiten sowie geoelektrische Messungen und geologische Profile mit den Schichtmächtigkeiten berücksichtigt werden. In der Abb. 4/11 wird für die zweite Schicht beim A-Teil eine Geschwindigkeit von 1428.6

m/s berechnet, die bei den anderen Seismikmessungen mehr oder weniger gleich war. Beim Gegenschuß zeigt die zweite Schicht wegen ihres schluffigen Inhalts eine Geschwindigkeit von 1562.5 m/s. Die Laufzeiten in der dritten Schicht, die zu den Tonen der Lehrbergschichten gehört, liegen bei beiden Teilen der Laufzeitkurve annähernd auf Geraden. Die Intercept-Times, mit denen die Mächtigkeiten berechnet wurden, passen gut zu den geologischen Verhältnissen.

Eine verwitterte Deckschicht würde bei der Analyse die Geschwindigkeit und die Mächtigkeit der ersten Seismik-Schicht beeinflussen. Für eine fehlerfreie Auswertung ist es empfehlenswert, die Schußpunkte in geringeren Entfernungen zu den Geophonen zu legen. In der Abb. 4/12 ist das S 6 Profil dargestellt, das mit einer Deckschicht mit der Geschwindigkeit von 263.34 m/s und mit der Mächtigkeit von 0.72 m charakterisiert war. Die grundwasserfreie Sandschicht, die bei manchen Profilen ^{im} untersuchten Gebiet die oberste Schicht war, fängt erst bei 0.72 m Tiefe an.

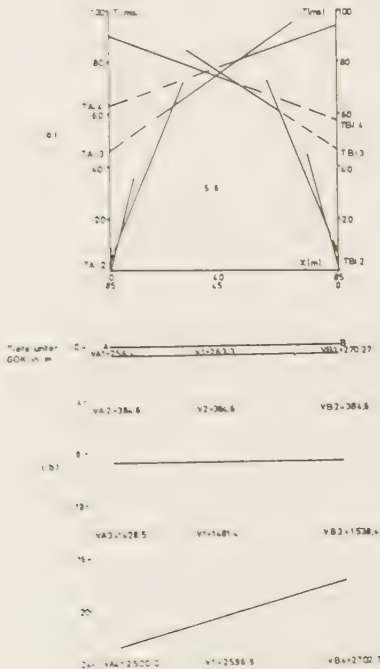


Abb. 4/12: Die Laufzeitkurve (a) und die seismische Interpretation (b) des Profils S6 (GOK: Gelände-Oberkante)

Interpretation der lateralen Materialänderungen mit der Seismik: Die Geschwindigkeiten der direkten Wellen charakterisieren die Geschwindigkeiten in der ersten Schicht und sollen den gleichen Wert zeigen. Bei einigen Profilen, z.B. bei S23 und bei S2, war diese Voraussetzung nicht erfüllt. Die Erklärung dafür liegt in dem Problem der lateralen Materialänderungen der ersten Schicht, die im Quartär häufig angetroffen werden kann.

Beim Seismik-Profil S 23 zeigen die direkten Wellen beim Schuß-Teil eine Geschwindigkeit von 252.53 m/s, die beim Gegenschuß-Teil mit 322.58 m/s berechnet war (siehe Abb. 4/13). Bei der Gegenschußseite soll die erste Schicht lehmig sein, die bei der Schußseite mit trockenen Sedimenten charakterisiert worden war. Bei solchen Fällen ist es schwer, die wahren Geschwindigkeiten zu berechnen. Das arithmetische Mittel beider Werte dürfte nicht immer die wahren Geschwindigkeiten angeben.

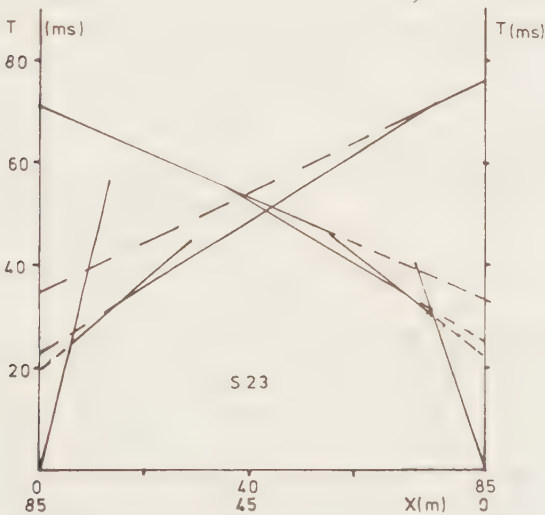


Abb. 4/13 : Die Laufzeitkurve des Profils S 23

Das Seismikprofil S2, das im nördlichen Teil des untersuchten Raumes gemessen wurde, zeigt ebenso einen Fall mit lateralen Faziesänderungen an. Beim Profil S 2 sind die Geschwindigkeiten der direkten Wellen nicht gleich: 352.10 m/s und 232.56 m/s. Unmittelbar bei S 2 liegt die geoelektrische Sondierung GE 4. Bei der Sondierung GE4 wird eine Deckschicht von 0.5 m Dicke

und von 35 Ohm m Widerstand erfaßt, wobei dieser Widerstand für Tone charakteristisch ist. Diese Deckschicht kommt aber bei der auf dem Profil S2 gemessenen GE3 nicht zur Erscheinung. Bei beiden geoelektrischen Sondierungen war es sicher, daß im Gelände, wo die Sondierungen GE3-4 und ^{das} Seismikprofil S2 durchgeführt worden sind, eine laterale Materialänderung von Osten nach Westen gefunden wurde; das erklärt die oben genannten Unterschiede in den direkten Wellen beim Profil S2 auf beiden Seiten. Materialänderungen können unter der Deckschicht auch auftreten. Dieser Fall wurde im untersuchten Raum aber nicht angetroffen oder er konnte nicht diagnostiziert werden. Die zu einem solchen Fall gehörige Laufzeitkurve ist in Abb. 4/14 dargestellt.

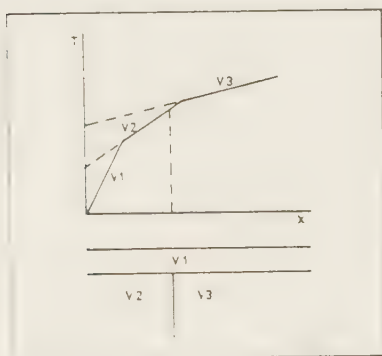


Abb.4/14 : Unter einer Deckschicht begrabene laterale Materialänderung im seismischen Profil.

Unregelmäßige Schichtgrenzen und Topographie: Auf einer unregelmäßigen Topographie durchgeführte Seismik-Messungen ergeben eine Laufzeitkurve, wie sie in Abb.4/15 dargestellt ist. Die Laufzeitkurve gehört zum Profil S19, das sich auf der Hauptterrasse befindet, auf der die Oberfläche geneigt ist. Das Profil S19 ist nur näherungsweise ausgewertet, weil eine exakte topographische Korrektur viel Rechenaufwand erfordert und sehr kompliziert ist. Diese Unregelmäßigkeit könnte auch bei den Schichtgrenzen existieren. Dabei bekommt man ebenfalls eine solche Laufzeitkurve, wie sie in Abb.4/15 dargestellt ist. Für eine horizontale Schichtung und faziell uniform ausgebildete Struktur gibt es zwar Möglichkeiten, die Korrektur durchzuführen. In dem untersuchten Raum sind die Schichten meistens nicht uniform, deswegen ist es schwer, eine Korrektur durchzuführen.

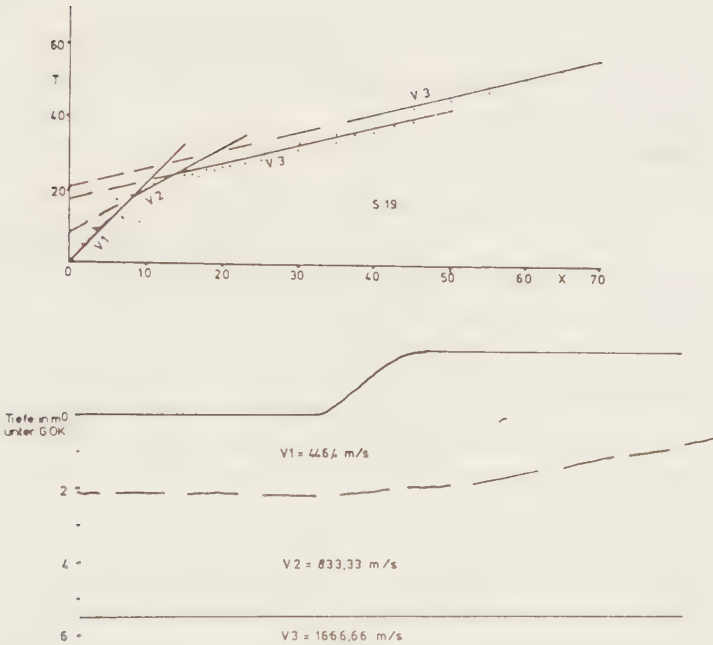


Abb.4/15 : Topographische Korrektur bei Profil S 19

"GOK=Gelände-Oberkante"

Zum Program SEISMIK : Es steht ein Computer-Programm in FORTRAN von der Firma BISON für mehrere geneigte Schichten zur Verfügung.

Die im untersuchten Raum gemessenen Profile sind mit diesem Programm im RRZE(Regionalen Rechen-Zentrum Erlangen)ausgewertet.Dabei wurden die Angaben über die Laufzeitkurven für das Programm dargestellt und erläutert.Es ist empfehlenswert,die Bedingungen,die unten angegeben sind,vor der Auswertung zu erfüllen:

- 1.Eine realistische Annahme der Untergrundstruktur
- 2.Aufzeichnung der Laufzeitkurven
- 3.Die Angaben(Geschwindigkeit und Intercept-Time) werden von der Laufzeitkurve entnommen (siehe Abb.4/16).
- 4.Rechnen mit Program SEISMIK.
- 5.Vergleich mit erwarteten Strukturen.

Im allgemeinen soll eine Laufzeitkurve wie die in der Abb.4/16 aussehen.

Wenn die Voraussetzungen für eine derartige Laufzeitkurve nicht erfüllt werden, bekommt man fehlerhafte Ergebnisse.

Die Voraussetzungen sind wie folgt:

1. Die Geschwindigkeiten sollten für jede Schicht konstant sein.
2. Jede folgende Schicht sollte eine höhere Geschwindigkeit als die vorhergehende haben.

Die Angaben für das Programm "SEISMIK" werden nachstehend beschrieben:

1. N = Zahl der Schichten.

2. M = Einheit der Laufzeiten; $M=0$ bedeutet Laufzeiten in secunde(s)

$M=1$ bedeutet Laufzeiten in millisekunde (ms)

3. Eingabe eines beliebigen Textes und der Einwirkungsentfernung(m)

4. Die Geschwindigkeiten (Beim Schuß- $VA_1, VA_2, \dots, VA_N$) (m/s)

(Beim Gegenschuß - $VB_1, VB_2, \dots, VB_N$) (m/s)

5. Die Intercept-Time; Beim Schuß ($TAI_2, TAI_3, \dots, TAI_N$) (ms oder s)

Beim Gegenschuß ($TBI_2, TBI_3, \dots, TBI_N$) (ms oder s).

"Intercept-Time der direkten Welle" $TAI_1=0$ und $TBI_1=0$ "

6. Die Endzeiten ($T_2, T_3, \dots$ und T'_2, T'_3) sollen etwa gleich sein.

" $T_2=T'_2, T_3=T'_3, \dots, T_N=T'_N$ "

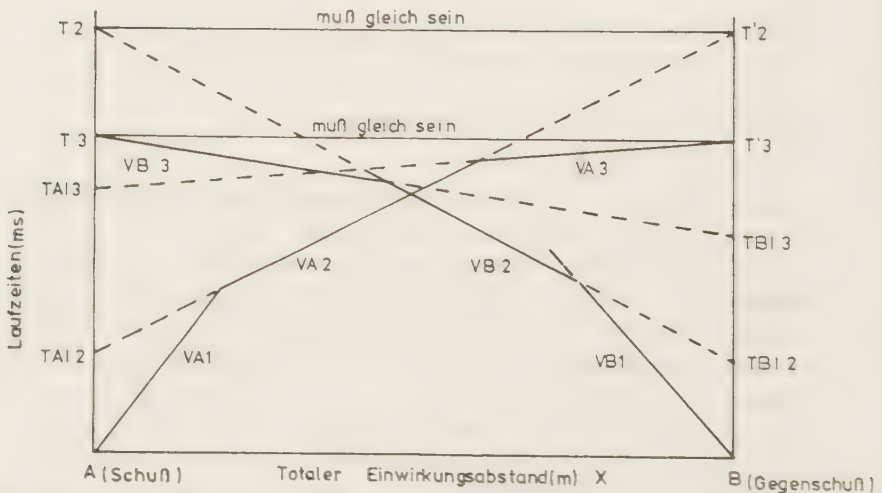


Abb. 4'16 : Allgemeine Darstellung der Laufzeitkurven zum Programm SEISMIK

PROGRAM "SEISMIK"

Initialisierung

Eingabe von M,N,Text,XMAX

VA1,....,VAN

VB1,....,VBN

TAI2,...,TAIN

TBIN,...,TBIN

Berechnung bis N'te Schicht

Ausgabe von eingegebenen Data

Ausgabe der berechneten Struktur

"Tabellen 4.2 bis 4.32"

-Struktogramm zum Programm "SEISMIK"-

4.1.3. Gerätebeschreibung und Messmethodik

Im untersuchten Raum, der für Flachseismik geeignet ist, wurde die Hammer-schlagseismik benutzt; für die seismischen Signale stand eine Mehrspurapparatur von BISON INSTRUMENTS INC. zur Verfügung. Das Gerät BISON 1580 hat 6-Kanäle, bei denen die Signale für 6-Geophone gleichzeitig aufgezogen werden können. Die Signale können einzeln und zusammen auf dem Bildschirm beobachtet werden. Es bestehen mehrere Möglichkeiten, die Signale am Bildschirm besser zu analysieren, z.B. eine veränderbare Einheit für die Laufzeiten.

Der größte Vorteil der BISON 1580 liegt darin, daß die erhaltenen Signale gespeichert werden können. Die gespeicherten Signale können auf Kassetten mit BISON-Kassettenrecorder aufgezogen oder auch mit CHART-Recorder aufgezeichnet werden. Das Gerät BISON 1580 besitzt dazu 6-Geophone mit Verbindungskabeln (in 5 m oder 10 m Abstand voneinander) zum Gerät und einen Hammer, um die Signale zu erzeugen.

Für die Flachseismik sind die Abstände bei den Geophonen und Schuttpunkten bei beiden Seiten (Schuß- und Gegenschuß) in kleineren Abständen gewählt, um die Deckschichten und die dünneren Schichten zu erfassen.

1975 MAR 26

23276 TS 10 TRACE

```

PROGRAM SELF (INPUT,OUTPUT)
  DIMENSION W(10),V(10),VA(10),VB(10),W0(10),P(10),
    TA(10),TB(10),TAI(10),TBI(10),MA(10),MB(10),DA(10),DB(10),P(10),
    TA1(10),TB1(10)
  COMMON /C/ N,N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,N10,N11,N12,N13,N14,N15,N16,N17,N18,N19,N20,N21,N22,N23,N24,N25,N26,N27,N28,N29,N30,N31,N32,N33,N34,N35,N36,N37,N38,N39,N40,N41,N42,N43,N44,N45,N46,N47,N48,N49,N50,N51,N52,N53,N54,N55,N56,N57,N58,N59,N60,N61,N62,N63,N64,N65,N66,N67,N68,N69,N70,N71,N72,N73,N74,N75,N76,N77,N78,N79,N80,N81,N82,N83,N84,N85,N86,N87,N88,N89,N90,N91,N92,N93,N94,N95,N96,N97,N98,N99,N100,N101,N102,N103,N104,N105,N106,N107,N108,N109,N110,N111,N112,N113,N114,N115,N116,N117,N118,N119,N120,N121,N122,N123,N124,N125,N126,N127,N128,N129,N130,N131,N132,N133,N134,N135,N136,N137,N138,N139,N140,N141,N142,N143,N144,N145,N146,N147,N148,N149,N150,N151,N152,N153,N154,N155,N156,N157,N158,N159,N160,N161,N162,N163,N164,N165,N166,N167,N168,N169,N170,N171,N172,N173,N174,N175,N176,N177,N178,N179,N180,N181,N182,N183,N184,N185,N186,N187,N188,N189,N190,N191,N192,N193,N194,N195,N196,N197,N198,N199,N200,N201,N202,N203,N204,N205,N206,N207,N208,N209,N210,N211,N212,N213,N214,N215,N216,N217,N218,N219,N220,N221,N222,N223,N224,N225,N226,N227,N228,N229,N230,N231,N232,N233,N234,N235,N236,N237,N238,N239,N240,N241,N242,N243,N244,N245,N246,N247,N248,N249,N250,N251,N252,N253,N254,N255,N256,N257,N258,N259,N260,N261,N262,N263,N264,N265,N266,N267,N268,N269,N270,N271,N272,N273,N274,N275,N276,N277,N278,N279,N280,N281,N282,N283,N284,N285,N286,N287,N288,N289,N290,N291,N292,N293,N294,N295,N296,N297,N298,N299,N300,N301,N302,N303,N304,N305,N306,N307,N308,N309,N310,N311,N312,N313,N314,N315,N316,N317,N318,N319,N320,N321,N322,N323,N324,N325,N326,N327,N328,N329,N330,N331,N332,N333,N334,N335,N336,N337,N338,N339,N340,N341,N342,N343,N344,N345,N346,N347,N348,N349,N350,N351,N352,N353,N354,N355,N356,N357,N358,N359,N360,N361,N362,N363,N364,N365,N366,N367,N368,N369,N370,N371,N372,N373,N374,N375,N376,N377,N378,N379,N380,N381,N382,N383,N384,N385,N386,N387,N388,N389,N390,N391,N392,N393,N394,N395,N396,N397,N398,N399,N400,N401,N402,N403,N404,N405,N406,N407,N408,N409,N410,N411,N412,N413,N414,N415,N416,N417,N418,N419,N420,N421,N422,N423,N424,N425,N426,N427,N428,N429,N430,N431,N432,N433,N434,N435,N436,N437,N438,N439,N440,N441,N442,N443,N444,N445,N446,N447,N448,N449,N450,N451,N452,N453,N454,N455,N456,N457,N458,N459,N460,N461,N462,N463,N464,N465,N466,N467,N468,N469,N470,N471,N472,N473,N474,N475,N476,N477,N478,N479,N480,N481,N482,N483,N484,N485,N486,N487,N488,N489,N490,N491,N492,N493,N494,N495,N496,N497,N498,N499,N500,N501,N502,N503,N504,N505,N506,N507,N508,N509,N510,N511,N512,N513,N514,N515,N516,N517,N518,N519,N520,N521,N522,N523,N524,N525,N526,N527,N528,N529,N530,N531,N532,N533,N534,N535,N536,N537,N538,N539,N540,N541,N542,N543,N544,N545,N546,N547,N548,N549,N550,N551,N552,N553,N554,N555,N556,N557,N558,N559,N560,N561,N562,N563,N564,N565,N566,N567,N568,N569,N570,N571,N572,N573,N574,N575,N576,N577,N578,N579,N580,N581,N582,N583,N584,N585,N586,N587,N588,N589,N590,N591,N592,N593,N594,N595,N596,N597,N598,N599,N600,N601,N602,N603,N604,N605,N606,N607,N608,N609,N610,N611,N612,N613,N614,N615,N616,N617,N618,N619,N620,N621,N622,N623,N624,N625,N626,N627,N628,N629,N630,N631,N632,N633,N634,N635,N636,N637,N638,N639,N640,N641,N642,N643,N644,N645,N646,N647,N648,N649,N650,N651,N652,N653,N654,N655,N656,N657,N658,N659,N660,N661,N662,N663,N664,N665,N666,N667,N668,N669,N670,N671,N672,N673,N674,N675,N676,N677,N678,N679,N680,N681,N682,N683,N684,N685,N686,N687,N688,N689,N690,N691,N692,N693,N694,N695,N696,N697,N698,N699,N700,N701,N702,N703,N704,N705,N706,N707,N708,N709,N710,N711,N712,N713,N714,N715,N716,N717,N718,N719,N720,N721,N722,N723,N724,N725,N726,N727,N728,N729,N730,N731,N732,N733,N734,N735,N736,N737,N738,N739,N740,N741,N742,N743,N744,N745,N746,N747,N748,N749,N750,N751,N752,N753,N754,N755,N756,N757,N758,N759,N760,N761,N762,N763,N764,N765,N766,N767,N768,N769,N770,N771,N772,N773,N774,N775,N776,N777,N778,N779,N780,N781,N782,N783,N784,N785,N786,N787,N788,N789,N790,N791,N792,N793,N794,N795,N796,N797,N798,N799,N800,N801,N802,N803,N804,N805,N806,N807,N808,N809,N810,N811,N812,N813,N814,N815,N816,N817,N818,N819,N820,N821,N822,N823,N824,N825,N826,N827,N828,N829,N830,N831,N832,N833,N834,N835,N836,N837,N838,N839,N840,N841,N842,N843,N844,N845,N846,N847,N848,N849,N850,N851,N852,N853,N854,N855,N856,N857,N858,N859,N860,N861,N862,N863,N864,N865,N866,N867,N868,N869,N870,N871,N872,N873,N874,N875,N876,N877,N878,N879,N880,N881,N882,N883,N884,N885,N886,N887,N888,N889,N890,N891,N892,N893,N894,N895,N896,N897,N898,N899,N900,N901,N902,N903,N904,N905,N906,N907,N908,N909,N910,N911,N912,N913,N914,N915,N916,N917,N918,N919,N920,N921,N922,N923,N924,N925,N926,N927,N928,N929,N930,N931,N932,N933,N934,N935,N936,N937,N938,N939,N940,N941,N942,N943,N944,N945,N946,N947,N948,N949,N950,N951,N952,N953,N954,N955,N956,N957,N958,N959,N960,N961,N962,N963,N964,N965,N966,N967,N968,N969,N970,N971,N972,N973,N974,N975,N976,N977,N978,N979,N980,N981,N982,N983,N984,N985,N986,N987,N988,N989,N990,N991,N992,N993,N994,N995,N996,N997,N998,N999,N1000,N1001,N1002,N1003,N1004,N1005,N1006,N1007,N1008,N1009,N1010,N1011,N1012,N1013,N1014,N1015,N1016,N1017,N10
```

[illegible]

```

440 PRINT 402 TIME SEGMENTS, X=END TO END
451 FORMAT (1M)
      IF I=1,6

```

```

405 M,N,X,(TITLE(I),
      READ 405,M,N,X,(TITLE(I),
      FORMAT (212,FA,0.6A8)
      IF (N) 640,640,407
      IF (N) 640,640,407

```

```

407 READ 410, IVA(I), I=1,N)
410 FORMAT (9F8.0)
      READ 410, (VB(I), I=1,N)
      READ 410, (VAI(I), I=2,N)
      READ 410, (VUI(I), I=2,N)
      READ 410, (TUI(I), I=2,N)
      TAI(1)=0.

```

[illegible]

```

1 SHAPKARE=0, B=7,X=8,Y=9,N=10
2 SX,SINVELLOCITIES, B=7,X=8,Y=9,N=10
IF (M) 414,6,17,414
      (I,VA(I),VB(I),TA(I),TBI(I),I=1,N)
PRINT 415, (I,VA(I),VB(I),TA(I),TBI(I),I=1,N)

```

```

414 PRINT 415, (I, F22.2, F18.2, F17.4, F16.4)
415 FORMAT (I12, F22.2, F18.2, F17.4, F16.4)
DO 416 I=2, N
IA(I)=IA(I)/1000.
F2(I)=FB(I)/1000.

```

```

416      YBI(I)=YBI(I)/1000.
      GO TO 419
      YBI(I)=YBI(I),YAI(I),YBI(I),I=1,N
      CALL WLD,(I,VA(I),VB(I),
      &          2,5+7.6,F18.4)

```

```

417 PRINT #10,(I,VAL(I))
418 CONTINUE
419
421 DO #30 I=2,N
      GO=VAL(I) * (%I/VAL(I) - 1./VB8(I))
      GO=VAL(I) + GO
      GO=GO/2.2242,GO23

```

```

224      IF (TBI(I)) 422,422,423
        TBI(I)=TBB
        GO TO 440

```

```

423      GOTO 430
      YAEND= YAI(I) + X/VA(I)
      YBEND= YBI(I) + X/VB(I)
      YBEND= YBEND-1.
      FERROR=ABS (YAEND/YBEND-1.)
      FERROR=.24+.24+.24

```

```

424 ERROR=ABS (V-0.10) 430,424,424
425 IF (ERROR .GT. 0.10) 430,424,424
426 PRINT 425,I
427 FORMAT (5X,
428 74HAPPARENT VELOCITY AND TIME INTERCEPT DATA ARE

```

```

60      INCONSISTENT AT LAYER NUMBER ,I2,7,X,56END=TO-END TRAVEL TIMES D
        ZIPPER BY MORE THAN 10 PERCENT.
        ,//)
430      CONTINUE
        V(I)=VA(I) + VB(I)*.5
        DO 570 N=2,N
            K=1
            ALPH(I)=ASIN (V(I)/VB(N))
            BETA(I)=ASIN (V(I)/VA(N))
            IF (N-2) 500,500+510
500            A(I)=TALPH(I) + BETA(I)*.5
            W(I)=TALPH(I) - BETA(I)*.5
            W(I)=V(I)/SIN(A(I))
            GO TO 550
510            A(I)=ALPH(I)-W(I/2)
            W(I)=BETA(I)*W(I/2)
            W<.01
520            W=V(I)/W(K-1)
            P(I)=ASIN(W/SIN(A(K-1)))
            Q(I)=ASIN(W/SIN(B(K-1)))
            IF (K-2) 530,530+540
530            A(K)=P(I)+Q(I)*W(K)
            Q(K)=P(I)-Q(I)*W(K+1)
            ALPH(K)=A(K)+W(K+1)
            BETA(K)=B(K)-W(K+1)
            GO TO 520
540            Q(K)=P(K)+Q(K)*.5
            P(K)=A(K)
            ALPH(K)=A(K)+P(K)*.5
            BETA(K)=B(K)+P(K)*.5
            W(K+1)=V(K)/SIN(A(K))
            K=K+1
            W=V(K)
            IF (K) 561,561+551
551            DO 561 I=1,KX
                W=COS(ALPH(I)) + COS(BETA(I))
                W=WH/V(I)
                W=HH/HH+H*H*H(I)
560                HH=HH+H*H*H(I)
561                CONTINUE
                X=V(K)/(COS(ALPH(K))+Q(S(BETA(K))))
                HA(K)=R*(TAT(K+1)-HH)
                HB(K)=R*(TBT(K+1)-HHB)
                OA(I)=HA(I)
                OB(I)=HB(I)
                IF (K-1) 570,570+569
569                OA(K)=OA(K-1)+HA(K)
                OB(K)=OB(K-1)+HB(K)
570                CONTINUE
                DO 530 J=2,N
                    K(J)=W(J)*57.2958
                    +0.001
580                PRINT 620
620                FORMAT(/// 2X,18HCOMPUTED STRUCTURE // 9X,5HLAYER, 6X,8HVELOCITY
                    1 6X,11HTHICKNESS A, 4X,11HTHICKNESS B, 8X,3HZIP,10X,7HDEPTH A,
                    2 8X,7HDEPTH B //)
                    I=1

```

```

115      PROGRAM SLIS      73/74      TS ID TRACE      .      FTN 4-8-528      82/86/14. 13.19.59      PAGE      3
125      PRINT 625,I,W(I),HA(I),HB(I),DA(I),DB(I)
        FORMAT (I12,3F15.2,15X,2F15.2)
        IF (N-2) 632,632,627
126      627      N=N-1
        PRINT 630,(I,W(I),HA(I),HB(I),W(I),DA(I),DB(I),I=2,N)
        FORMAT (I12,6F15.2)
127      630      PRINT 635,N,V(N),W(N)
        FORMAT (I12,F15.2,30X,F15.2)
128      635      PRINT 638
        PRINT 638      (//////,5X,*OUTPUT DATA ARE PRINTED TO TWO DECIMAL PLACES*,
        1/,5X,*BUT NO IMPLICATION IS INTENDED THAT THE SEISMIC RESULTS HAVE
        1 THIS DEGREE OF RELIABILITY.*)
        GO TO 400
        640      CONTINUE
        END

```

4.2.GEOELEKTRIK

Um bei den Seismikprofilen zuverlässigere Ergebnisse zu bekommen und die GW-Spiegelhöhen zu bestimmen, wurden die geophysikalischen Untersuchungen mit der Geoelektrik erweitert. Durch den Vergleich beider Methoden wurden vertiefte Informationen über die geologischen Verhältnisse im untersuchten Raum gesammelt.

4.2.1.Erläuterung der Methode:

Gesteine und Böden ergeben mit ihren unterschiedlichen Porenvolumen, Porenfüllung, Fremdkörper, Zersetzungen, Verwitterung u.a. Eigenschaften für die Unterschiede in der elektrischen Leitfähigkeit. Auf diesen Unterschieden des Widerstandes der Gesteine basiert die Methode der geoelektrischen Widerstandssondierung. Es gibt dann zwei Voraussetzungen, um eine geoelektrische Untersuchung mit Erfolg ausführen zu können: Erstens ausreichende Leitfähigkeitsunterschiede, bzw. Widerstandsunterschiede, zweitens ein tektonisch einfacher Bau des Untergrundes, d.h. ungünstige Schichtgrenzen.

Dem Boden wird von der Erdoberfläche aus über zwei Elektroden A und B ein Gleichstrom zugeführt. Das OHMsche Gesetz gilt für ein nicht räumlich begrenztes Gebiet mit normierten Größen für Spannung, Strom und Widerstand;

$$I = \delta \frac{q}{l} U = \frac{1}{\varrho} \frac{q}{l} U \quad (4.11)$$

I: Stromstärke (A=Amper) U: Spannung (V=Volt) l: Länge des Körpers(m)

q: Querschnitt des Körpers(qm) δ : spezifische elektrische Leitfähigkeit

ϱ : spezifischer Widerstand (Ohm m)

4.2.2.Messverfahren:

Dem Boden wird über die beiden Elektroden A und B Gleichstrom zugeführt. Auf diese Weise wird im Untergrund ein künstlich aufgeprägtes elektrisches Feld aufgebaut. Räumlich gesehen handelt es sich um halbkugelschalenartig um die beiden Elektroden ausgebildete Äquipotentialflächen, die in die Erdoberfläche einmünden und die Potentialverteilung liefern. In dieser Potentialverteilung spiegelt sich der elektrische Widerstand des Untergrundes wieder. Wenn man die Differenz zwischen den Potentiallinien bei den Sonden M und N mißt, bildet diese im Zusammenhang mit der Stromstärke des zwischen den Elektroden A und B fließenden Stromes ein Maß für den spezifischen Widerstand des als homogen angenommenen Untergrundes. Es gilt:

$$\varrho = K \frac{U}{I} \quad (4.12)$$

U: Spannung I: Stromstärke K: Proportionalitätsfaktor

ϱ : spez. Widerstand

Der Proportionalitätsfaktor ergibt sich aus den Dimensionen der Anordnung, d.h. dem Sondenabstand(s) und dem Elektrodenabstand(L) (siehe dazu Abb.4/17).

Ein stärkerer Strom I erzeugt eine entsprechend größere Spannung U. Das ganze Feld wird verstärkt, seine Form jedoch- und eben diese drückt sich in dem Quotienten U/I aus bleibt erhalten.

Bei einem homogenen Untergrund ist der spezifische Widerstand des Bodens unabhängig von der Entfernung der Elektroden, denn der Einfluß der Anordnung von Elektroden und Sonden wird durch den Anordnungsfaktor (K) reguliert.

Die spezifischen Widerstände verhalten sich jedoch bei einem geschichteten Untergrund anders. Da in einem solchen der Strom vorzugsweise in den elektrisch gut leitenden Schichten fließt, tritt eine Verzerrung des elektrischen Feldes ein, die sich im Bild der Potentiallinien an der Erdoberfläche widerspiegelt. Bei der Sondierung macht man sich diese Tatsache zunutze, indem man mittels der Vierpunktanordnung das verzerrte Potentialbild an der Erdoberfläche abtastet. Das geschieht in der Praxis mit der sukzessiven Vergrößerung der Elektrodenentfernung L. Dabei beeinflussen die spezifischen Widerstände tieferer Schichten nach und nach die Messung. Mit der Gleichung (4.12) findet man anstatt des spezifischen Widerstandes des homogenen Untergrundes einen Widerstandswert R_{ρ} spez., den man den "scheinbaren" Widerstand nennt. Er hängt bei einem nicht homogenen Untergrund von der Elektrodenentfernung L ab. Bei einem Zweischichtenfall erhält man nur bei sehr kleinem bzw. sehr großem Elektrodenabstand die asymptotisch angenäherten spez. Widerstände für beide Schichten.

Die erhaltenen Werte als Funktion der halben Elektrodenentfernung im doppeltlogarithmischen Maßstab aufgetragen- stellen eine Sondierungskurve dar. Mit der Auswertung dieser Sondierungskurven durch Vergleichskurven bzw. durch berechnete Modelle erhält man für einzelne Schichten die spez. Widerstände und Tiefenlagen dieser Horizonte.

4.2.3. Messmethode :

Es bieten sich mehrere Anordnungen für die Vierpunktmessungen an, von denen die Schlumberger-Anordnung (siehe Abb.4/17) besonders vorteilhaft ist. Einer ihrer Vorteile für den untersuchten Raum liegt z.B. darin, daß die Sonden fest bleiben und nicht wie bei der Wenner-Anordnung umgesetzt werden müssen. Dadurch können die Störeffekte, die durch Inhomogenitäten in der Nähe der Erdoberfläche auftreten könnten, vermieden werden (FLATHE & HOMILIUS ;1973).

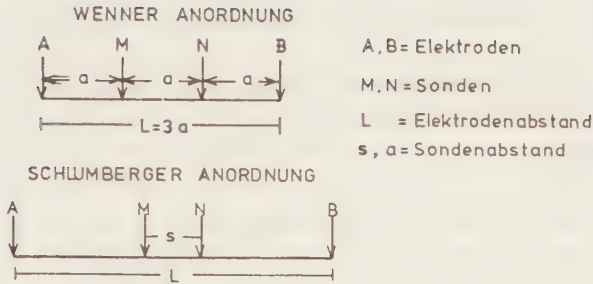


Abb.4/17 : Geoelektrische Vierpunkt-Anordnungen

Bei der Wenner-Anordnung sind größere Elektrodenentfernungen notwendig, um den identischen Kurvenbereich zu der Schlumberger-Kurve zu erhalten. Es ist in dem untersuchten Raum wegen der dichten Besiedlungen und wegen der morphologischen Unterschiede sehr schwer, größere Entfernungen zu wählen. Deshalb wurden die Messungen im untersuchten Raum mit der SCHLUMBERGER-Anordnung durchgeführt.

4.2.4. Auswertungen :

Die geoelektrischen Untersuchungen liefern ebenso wie die Seismik-Profile zunächst ein Ergebnis, dessen geologische Deutung nicht immer leicht möglich ist. Die Hauptaufgabe wird es dann sein, die geoelektrischen Untersuchungsergebnisse durch vorsichtiges Vergleichen mit der Modellkurve ^{zu} verbessern; dabei war es hilfreich, von anderen Methoden der Geophysik zusätzliche Informationen zu bekommen, wie es in unserer Arbeit die Seismik (Reflexionsseismik) war.

Bei der Auswertung hat man geeignete Modellkurven theoretisch zu berechnen und mit den gemessenen Sondierungskurven zu vergleichen. Dabei wird unter mehreren äquivalenten Modellen, die zur Sondierungskurve passen, eine Auswahl getroffen und zwar derart, daß das Ergebnis geologisch vernünftig ist und sich mit den Nachbarsondierungen und mit den Seismikergebnissen kombinieren läßt.

Probleme bei den Auswertungen: Aus manchen Sondierungskurven ist die Anzahl der Schichten nicht direkt zu entnehmen, da die Sondierungskurven glatt sind. Geringmächtige Horizonte in größerer Tiefe werden im Kurvenbild unterdrückt, besonders wenn ihr Widerstand einen Mittelwert zwischen den Widerstandswerten der Nachbarschichten besitzt (Prinzip der Schichtunterdrückung).

Eine Folge von Schichten mit wechselnden Widerständen erscheint häufiger als eine Schicht mit einem Durchschnittswiderstand, deren Pseudomäch-

tigkeit größer ist als die wahren Mächtigkeiten. Das ist eine Folge der Anisotropie bei den Gesteinen.

Ein zwischen zwei schlechten Leitern liegender Horizont mit der Mächtigkeit m und Widerstand ρ beeinflusst bei gleicher Tiefenlage die Messung in dem gleichen Maße, wie ein Horizont mit der Mächtigkeit m' und dem Widerstand ρ' . Es gilt;

$$m/\rho = m'/\rho' ; \quad (4.13)$$

gleiche elektrische Leitfähigkeit für beide Horizonte.

Für einen schlecht leitenden Horizont zwischen zwei guten Leitern tritt an Stelle des Quotienten m/ρ das Produkt $m \cdot \rho$, der elektrische Querswiderstand der Schicht.

Um eine Schicht im Untergrund in den Sondierungskurve erkennen zu können, ist eine relative Mächtigkeit größer 1 (m/h größer 1) erforderlich, d.h. die Schicht muß mindestens so mächtig sein wie ihr gesamtes Hangendes.

Das Äquivalenzprinzip der Geoelektrik macht es notwendig, die Variationsbreite der unbekannten Parameter auf irgendeine Weise einzuengen. Es ist sinnvoll, wenn die Widerstände der einzelnen Schichten durch Bohrlochmessungen bekannt sind. Im untersuchten Raum war das nicht der Fall. So soll durch Bohrungen zumindest eine geologische Vorstellung mit Schichtzahlen und Mächtigkeiten vermittelt werden. Deshalb wurden die geoelektrischen Messungen zuerst bei den Bohrungen und Brunnen mit bekannten Schichtprofilen durchgeführt, um die Widerstände der Schichten zu ermitteln.

Die oben genannten Probleme, die teilweise in dem untersuchten Raum auftraten, sind bei den Ergebnissen der geophysikalischen Sondierungen berücksichtigt worden.

Auswertungsmethoden: Die Interpretation der Sondierungskurven mit Hilfe berechneter Standardkurven setzt eine horizontale Lagerung der Schichten voraus (DEPPERMAN, 1961). Um diese Bedingung zu erfüllen, wurden die Messungen parallel zur Talachse und mit der SCHLUMBERGER-Anordnung durchgeführt. Der Geometriefaktor K läßt sich durch die unten angegebene Gleichung (4.14) berechnen:

$$K = (\pi/4) \cdot s \cdot (L^2 - s^2) \quad (4.14)$$

Die Sondierungen wurden mit einem Computer-Programm, das vom Geophysikalischen Institut der Universität München zur Verfügung gestellt war, ausgewertet. Zur leichteren Anpassung der Modellkurven, wurden zuerst die graphischen Auswertungen durchgeführt. In der Abb. 4/18 ist die graphische Auswertung der GELV dargestellt. Die graphischen Auswertungsmethoden werden

in der Literatur (z.B. in BENTZ & MARTINI, Lehrbuch der Angewandten Geologie Bd. I, Stuttgart) ausführlich erklärt.

Nach der graphischen Auswertung werden die Modelle mit dem Programm FIL berechnet und auf einfache Weise graphisch dargestellt. Die zu GE16 gehörende Graphik ist in Abb. 4/19 zu sehen. Nachdem die Kurven als mehr oder weniger identisch betrachtet werden können, wurden die berechneten Modelle mit dem Erlanger Graphik System des RRZE auf doppeltlogarithmischem Maßstab dargestellt. Bei der oben genannten Phase (Graphische Auswertung und Modellversuche) wurden immer die geologischen und seismischen Verhältnisse berücksichtigt.

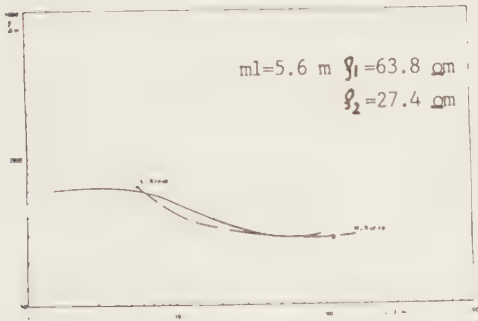


Abb. 4/18 : Graphische Auswertung
der GE 16

— Messkurve
---- Hilfskurve

GE 16/23

Z-SCHICHTENFALL

SCHICHT	RHO	DICKE (m)
1	63,38	0,50
2	34,60	UNENLICH

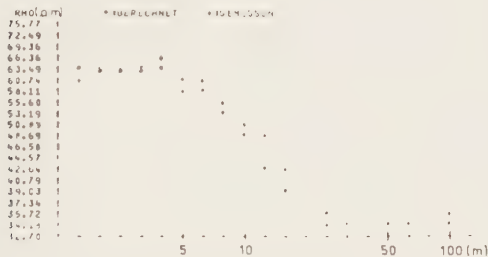


Abb. 4/19 : Modellversuch der Sondierung GE 16 mit dem
Programm 'FIL'

4.2.5. Gerätebeschreibung:

Um die geoelektrischen Sondierungen durchzuführen, wurde das Gleichstrom-Gerät **RODENSEEWERK GEOSYSTEM GmbH Gga 30** verwendet. Das Messgerät besteht aus den beiden Einheiten Gga 30 M und Gga 30 L, wobei Gga 30 L die Leistungseinheit und Gga 30 M die Mess- und Steuer-Einheiten sind. Die beiden Einheiten des Gerätes werden mit dem am L-Teil angebrachten Kabel miteinander verbunden. Mit dem Leistungsteil können an den Elektroden Spannungen von 80 V, 120 V und 300 V erzeugt werden. Die maximale Ausgangsleistung beträgt 60 W. Bei der Gga 30 sind keine unpolarisierbaren Sonden notwendig. Die 10^{-6} V betragende Meßempfindlichkeit kann mit der Anwendung der Stapelung auf 10^{-7} V erhöht werden. Die Spannung wird digital am M-Teil und die Stromstärke auch digital am L-Teil abgelesen.

4.2.6. Anmerkungen zum Programm "FIL"

Das verwendete Programm FIL zur Berechnung der Modellkurven stammt vom Geophysikalischen Institut München. Die Auswertung der geoelektrischen Messungen wurde im RGE durchgeführt. Das Rohprogramm ist durch Unterprogramme erweitert, die die Meßpunkte mit dem Symbol (+), die berechneten Punkte mit (x) und identische Punkte mit (\$) darstellen sollen.

Nachdem die Meß- und Modellkurven einigermaßen identisch ausgesehen haben und zu den geologischen Verhältnissen gut passten, sind das berechnete Modell und die Meßkurven mit doppellogarithmischen Achsen mit dem EGS (Erlanger Grafik System) aufgezeichnet worden.

Bei der ersten Phase mit den einfachen Darstellungen wurden die maximalen und die minimalen spez. Widerstandswerte automatisch berechnet und die Kurven aufgezeichnet. Bei der anderen Aufzeichnungsmethode, nämlich beim doppellogarithmischen Maßstab, müssen die maximalen und minimalen spez. Widerstandswerte eingegeben werden.

Ablauf des Programms "FIL"

Initialisierung
Eingabe von RHO s, RHO min., RHO max über den Meßwertfile "Tape 7"
Eingabe von I9, R(I), D(I)
Wiederholung bis N
Berechnung des spez. Widerstandes
Ausgabe der Meß- und Modellkurven
Ausgabe der spez. Widerstandes und der Mächtigkeiten
Nach der Anpassung Meß- und Modellkurven Ausgabe mit doppellog. Maßstab

```

PROGRAM SBM(INPUT,OUTPUT,TAPE7,TAPES=INPUT,TAPE6=OUTPUT,GRAFIK=0)
C .
C SBM BERECHNET DIE SCHEINBAHREN WIDERSTAENDE EINES N-SCHICHTEN-
C FALLES NACH SCHLUMBEPGER UND GIBT SIE ZUSAMMEN MIT DEN REALEN
C (GEMESSENEN) WIDFSTAENDEN IN EINER DRUCKERGRAFIK AUS. DIE ELEK-
C TRODENAUFSTELLUNG BEGINNT MIT 1.5 METER ELEKTRODENAABSTAND.
C MODELLKURVE: DIE EINGABECATEN (SCHICHTANZAHL,SCHICHTMAECHTIG-
C KEITEN, WIDERSTAENDE, MESSWERTANZAHL (MAX. 22)
C WERDEN VON INPUT GEFRAGT.
C GEMESSENE KURVE: DIE MESSWERTE WERDEN VOM MESSWERTFILE IM FORMAT
C 2(11F7.0/) GELESEN, DER MESSWERTFILE WIRD VOR DEM
C LESEN ZURUECKGESPULT.
C PROGRAMMSTART:
C <B-PROGR.>.,<OUTPUTFILE>,<MESSWERTFILE>
C ODER
C <B-PROGR.> WENN DER MESSWERTFILE TAPE7 HEISST UND DER
C OUTPUT AUF DAS TERPMINAL GEHEN SOLL
C
COMMON R(10),D(9),T(35),I8,I9,Y,B,RHOS(22),ITEXT(2)
F=EXP(ALOG(10.)/8.)
WRITE(5,700)
READ(5,800)(ITEXT(I),I=1,2)
WRITE(5,100)
READ*,I9
WRITE(5,200)I9
I8=I9-1
READ*(R(I),I=1,I9)
WRITE(5,300)I8
READ*(D(I),I=1,I8)
X1=1.5
WRITE(5,500)
READ*,N
Y=X1/822.8
DO 1 J=1,34
CALL SBMBAS
T(J)=B
Y=Y*F
1 CONTINUE
DO 4 M=1,N
CALL SBMBAS
T(35)=B
Y=Y*F
S=42.*T(1)-103.*T(3)+144.*T(5)-211.*T(7)+330.*T(9)-574.*
FT(11)+1184.*T(13)
S=S-3162.*T(15)+10219.*T(17)-24514.*T(19)+18192.*T(21)
F+6486.*T(23)
S=S+1739.*T(25)+79.*T(27)+200.*T(29)-106.*T(31)+93.
F*T(33)-38.*T(35)
S=S/10000.
DO 2 J=1,34
JJ=J+1
2 T(J)=T(JJ)
RHOS(M)=S
4 CONTINUE
100 FORMAT(1H1,2X,"ZAHL DER SCHICHTEN:")
200 FORMAT(2X,"GIB ",I1,"-WIDERSTAENDE EIN")
300 FORMAT(2X,"GIB ",I1,"-SCHICHTMAECHTIGKEITEN EIN:")

```

```

500  FORMAT( 2X,"ANZAHL DER MESSWERTE:")
600  FORMAT(5X,I3,7X,F7.1,5X,F9.2)
700  FORMAT("TEXT:")
800  FORMAT(2A10)
      CALL PLOTPR(N)
      STOP
      END

```

SUBROUTINE SMBAS

```

      SUBROUTINE SMBAS
      COMMON R(10),D(9),T(35),I8,I9,Y,B
      B=R(I9)
      DO 3 K=1,I8
      I=I9-K
      U=D(I)/Y
      IF((5.-U).GT.0.)GOTO 1000
      B=R(I)
      GOTO 3
1000  A1=EXP(U)
      A2=(A1-1./A1)/(A1+1./A1)
      B=(B+A2*B(R(I)))/(1+A2*B(R(I)))
3     CONTINUE
      RETURN
      END

```

SUBROUTINE PLOTPR

```

      SUBROUTINE PLOTPR(NX)
      INTEGER P(22,22),BLANK,STAR,DASH,QMARK,PLUS,DOLLAR
      DIMENSION RHOGEM(22)
      COMMON R(10),D(9),T(35),I8,I9,Y,B,RHOS(22),ITEXT(2)
      DATA BLANK/" "/,STAR/"*"/,DASH/"-"/,QMARK/"!"/,PLUS/"+"/
      D ,DOLLAR/"$"/,NY/20/
      REWIND 7
      READ(7,7000)(RHOGEM(I),I=1,22)
      RHOMAX=ALOG(RHOGEM(1))
      RHOMIN=RHOMAX
      DO1 I=1,NX
      RHOS(I)=ALOG(RHOS(I))
      RHOGEM(I)=ALOG(RHOGEM(I))
      IF(RHOMAX.LT.RHOGEM(I))RHOMAX=RHOGEM(I)
      IF(RHOMAX.LT.RHOS(I))RHOMAX=RHOS(I)
      IF(RHOMIN.GT.RHOGEM(I))RHOMIN=RHOGEM(I)
      IF(RHOMIN.GT.RHOS(I))RHOMIN=RHOS(I)
3     CONTINUE
      RHOMAX=RHOMAX+RHOMAX/30.
      WRITE(6,6040)(ITEXT(I),I=1,2),I9
      DO6 I=1,I8
6     WRITE(6,6030)I,R(I),D(I)
      WRITE(6,6050)I9,R(I9)
      DO2 I=1,22
      DO2 J=1,22
      P(I,J)=BLANK
2     CONTINUE
      DO3 I=1,22
      P(I,1)=DASH
3     CONTINUE

      YSTEP=(RHOMAX-RHOMIN)/(NY-1)

```

```

DO4 I=1,NX
  IYP1=1+(RHOS(I)-RHOMIN+YSTEP/2)/YSTEP
  IYP2=1+(RHOGE(I)-RHOMIN+YSTEP/2)/YSTEP
  P(I,IYP1)=STAR
  P(I,IYP2)=PLUS
  IF(IYP1.EQ.IYP2)P(I,IYP1)=DOLLAR
4  CONTINUE
  WRITE(6,6000)
  DO5 I=1, NY
    K=NY+1-I
    WRITE(6,6000)EXP(RHOMAX-YSTEP*(I-1)),(P(J,K),J=1,NX)
5  CONTINUE
7000 FORMAT(2(11F7.0))
6000 FORMAT(/8X,'RHO',10X,'*BERECHNET   +:GEMESSEN')
6010 FORMAT(3X,F9.2,2X,'"',22(2X,A1))
6030 FORMAT(7X,I2,5X,2F8.2)
6040 FORMAT(11X,5X,2A10//4X,I2,"-SCHICHTENFALL",
F //5X,"SCHICHT      RHO      DICKE(M)")
6050 FORMAT(7X,I2,5X,F8.2,"      UNENDLICH")
  RETURN

```

AUFZEICHNUNG MIT (EGS)

```

SUBROUTINE PLOTPR(NX)
  DIMENSION RHOGE(22),ENT(22),IT1(2),IT2(2)
  COMMON R(10),D(9),T(35),I8,I9,Y,B,RHOS(22),ITEXT(2)
  DATA ENT/1.5,2.,2.5,3.,4.,5.,6.,8.,10.,12.,15.,20.,25.,30.,
W40.,50.,60.,75.,100.,125.,150.,175./
  DATA IT1/"-SCHICHTEN","FALL"/,CHOHE/0.3/      +
  DATA IT2/"DICKE      ","RHO"/
  REWIND 7
  READ(7,700)(RHOGE(I),I=1,11)
  READ(7,700)(RHOGE(I),I=12,NX)
700  FORMAT(11F7.0)
  READ(7,*)RHOMIN,RHOMAX
  CALL HIUFMT(21.0,15.0)
  CALL HISUBF(1.5,1.5,18.0,9.0)
  CALL XAXLOG
  CALL YAXLOG
  CALL XBOUND(1.,1000.)
  CALL YBOUND(RHOMIN,RHOMAX)
  CALL DRWAX
  CALL MOVE(1.5,13.)
  CALL PLARRY(ICOHE,0.,ITEXT,22)
  CALL MOVE(1.5,12.)
  RI9=I9
  CALL PLNUMB(ICOHE,0.,RI9,-1)
  CALL PLARRY(ICOHE,0.,IT1,14)
  CALL MOVE(11.5,12.3)
  CALL PLARRY(ICOHE,0.,IT2,13)
  DO6 I=1,I8
    CALL MOVE(11.5,12.3-I*ICOHE*2)
    CALL PLNUMB(ICOHE,0.,D(I),2)
    CALL MOVE(11.5+8*ICOHE,12.3-I*ICOHE*2)
    CALL PLNUMB(ICOHE,0.,R(I),2)
6  CONTINUE

```

Ausgabegeräte

```

CALL MOVE(11.5,12.3-I9*ICHOHE*2)
CALL MOVE(11.5+8*ICHOHE,12.3-I9*ICHOHE*2)
CALL PLNUMB(ICHOHE,0.,R(I9),2)

CALL HIFRAM
CALL MOVET(ENT(1),RHOS(1))
DO2 I=2,NX
CALL DRAWT(ENT(I),RHOS(I))
2  CONTINUE
CALL MOVET(ENT(1),RHOGEM(1))
DO3 I=2,NX
CALL DASHT(ENT(I),RHOGEM(I))
3  CONTINUE
CALL PLOTCL
RETURN
END

```

4.3. Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen

Für die Auswertung der geoelektrischen Sondierungen über den ganzen Untersuchungsraum sind die Schichtenfolge, die Mächtigkeiten und die Widerstände der Quartärfüllungen zunächst unbekannt. Um einen Ausgangspunkt für das ganze Gebiet bekommen zu können, wurden die geoelektrischen Sondierungen GE 37 und GE 38 an den Brunnen der Stadtwerke Erlangen (Eltersdorfer-Gruppe West) durchgeführt; wo die Schichtenfolge und die Mächtigkeiten bekannt waren, sollten nur die Widerstände variiert werden. Außerdem wurden durch die Stadtwerke Erlangen monatlich zweimal GW-Spiegelmessungen durchgeführt und zur Verfügung gestellt.

Die geoelektrischen Sondierungen GE 37 und GE 38 liegen (siehe Anlage 1) auf der Hauptterrasse des Quartärs, wo die Erdoberfläche mit Bäumen bedeckt ist.

Wie man aus der Sondierungskurve GE 37 entnehmen kann, zeigen die Waldböden höhere Widerstände. Bei der Sondierungskurve wird auf den ersten Blick eine absteigende Sondierungskurve mit Vierschichten angenommen (siehe Abb. 4/20).

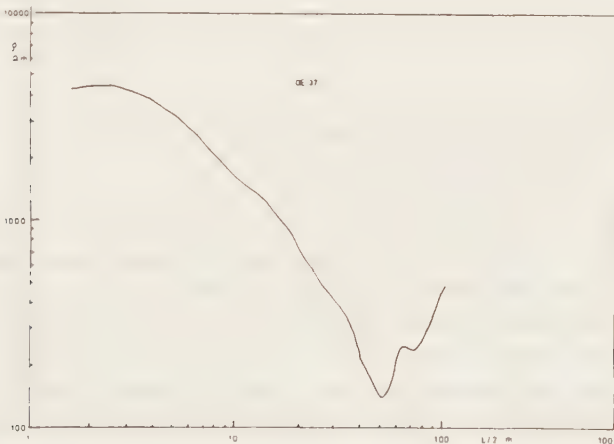


Abb. 4/20 : Die Meßkurve der Sondierung GE 37
"Absteigende Sondierungskurve"

Die hinteren Äste der Sondierungskurve könnten durch Meßfehler oder durch eine Zwischenlagerung von Sandschichten in Tonenentstanden sein.

Es wurden bei der Sondierung GE 37, die über Brunnen 4 der Eltersdorfer Gruppe geht, ohne Berücksichtigung der hinteren Äste für den Vierschichtenfall Modellversuche durchgeführt (siehe Abb. 4/21).

GE 37/23 1. M S/2. F+M

4-SCHICHTENFALL

SCHICHT	RHO	DICKE (M)
1	4640.20	2.40
2	1998.09	7.00
3	800.00	13.30
4	120.00	UNENDLICH

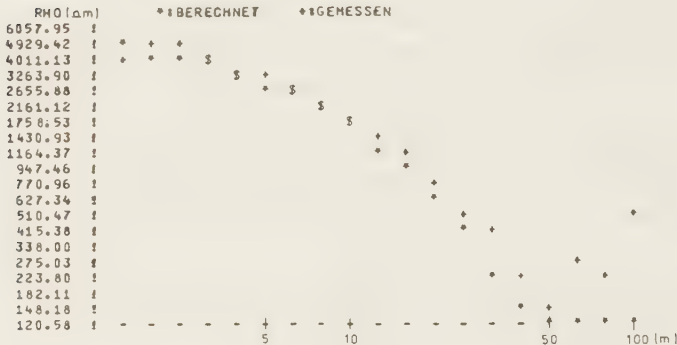


Abb. 4/21 : Modellversuche der Sondierung GE 37
" ohne Berücksichtigung der bekannten
geologischen Verhältnisse "

Die Meßkurve und die berechnete Modellkurve passen einigermaßen zusammen. Da aber die Schichtenfolge und die Mächtigkeiten bekannt waren, dürfte diese Auflösung wegen des Äquivalenzprinzips und des Prinzips der Schichtunterdrückung nicht korrekt sein; somit sollten die berechneten Modelle die Schichten, die vom Brunnen 4 bekannt waren, auch erfassen. Als eine vierte Schicht wurde eine stark tonige Sandlage, die am Brunnen 4 bekannt ist, mit einer Relativmächtigkeit ($m/h = 4.75/15.4 = 0.3$ m) von 0.3 m mitberechnet (siehe Abb. 4/22 und 4/23). Obwohl diese Schicht sich bei der Sondierungskurve nicht bemerkbar macht, würde die Kurve nicht reagieren, sondern die Meß- und Modellkurve durch diese Annahme besser zusammenpassen.

Nach dieser Schicht sollte, um den Verlauf der Meßkurve und der berechneten Kurve besser zusammenzubringen, eine Schicht mit ziemlich hohem Widerstand zugefügt werden. Die Mächtigkeit dieser zugefügten Schicht deutet auf die vom Br. 4 bekannte stark kiesige und wegen vorheriger tonigen Schicht

grundwasserarme Sandlagerung. Bei der Tiefe von 22.70 m, die ebenfalls vom Br.4 als die Grenze zwischen Quartär und Keuper bekannt ist, fangen die Tone der Lehrbergsschichten an. Die Tonschicht zeigt einen Widerstandswert von 20.0 Ohm m (siehe Abb.4/23).

GE37/77

7-SCHICHTENFALL

SCHICHT	RHO	DICKE(M)
1	5000.00	2.40
2	2000.00	7.00
3	800.00	6.00
4	260.00	4.75
5	2200.00	2.65
6	20.00	10.00
7	620.00	UNENOLICH

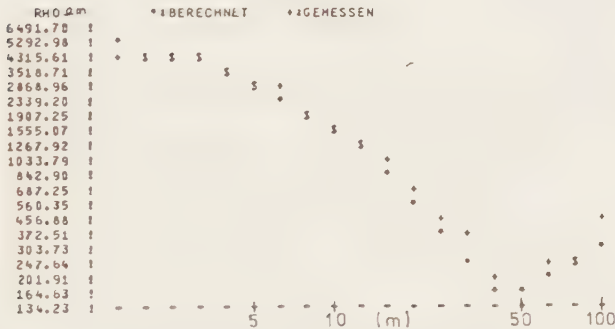


Abb.4/22 : Der Modellversuch der Sondierung GE37

"mit Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse"

Der Modellversuch in der Abb.4/23 unterscheidet sich durch die Mächtigkeit der 6. Schicht vom Modellversuch in der Abb.4/22.

Durch die Sondierung GE 37 sind die Widerstände der einzelnen Schichten einigermaßen bestimmt worden; jetzt steht die Frage offen, ob diese bestimmten Widerstände sich auf die benachbarten Bereiche übertragen lassen, da die Fazies sich in den Quartärfüllungen rasch ändern, wodurch sich auch die Widerstände ändern.

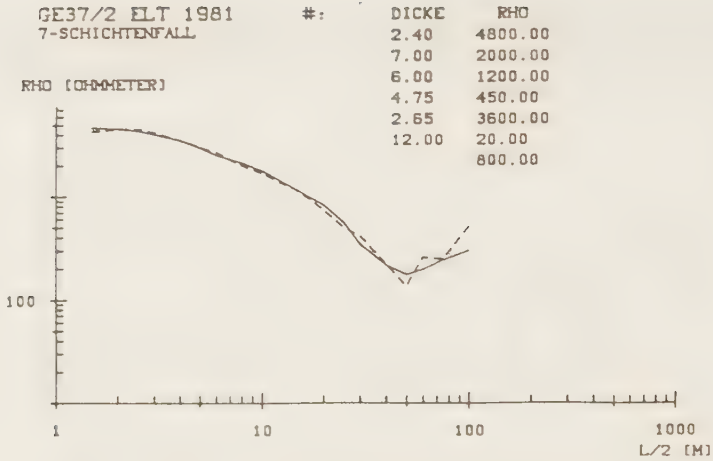


Abb.4/23 :Meß-und Modellkurven der Sondierung GE 37
"Meßkurve gestrichelt"

1

S6 ELT 1981 CEM

SPREAD LENGTH = 65.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	250.41	270.27	0.0000	0.0000
2	384.62	384.62	.0040	.0040
3	1423.57	1538.46	.0460	.0460
4	2500.00	2702.70	.0625	.0570

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNESS A	THICKNESS B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	253.34	.72	.72		.72	.72
2	384.62	8.09	8.09	.00	8.81	8.81
3	1481.41	13.94	8.98	-.57	22.75	17.79
4	2500.00			.53		

Tab.4/2 :Auswertung des Seismikprofils S6;vgl.dazu Abb.4/24

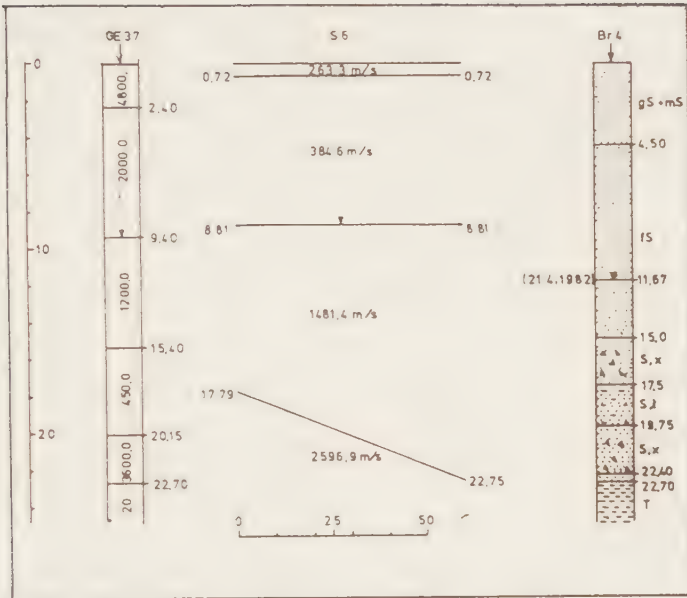


Abb.4/24 :Profil zum Vergleich der Sondierung GE 37
und des seismischen Profils S 6 mit Br.4
"GE 37 durchgeführt im April 1982 und
S 6 im Juli 1981 "

Die Sondierung GE 38 liegt in der unmittelbaren Nähe von GE 37. Bei GE 38 ist angenommen, daß die Fazies des Quartärs sich nicht ändern. Bei den Modellversuchen GE 38 wurden die Schichtenfolgen und Mächtigkeiten berücksichtigt, die vom Brunnen 4 bekannt sind; dann gelten die Widerstände der Schichten, die bei GE 37 bestimmt wurden, mit wenigen Änderungen bei GE 38 auch. Im Gegensatz zu GE 37 zeigt GE 38 eine lehmige Deckschicht mit der Mächtigkeit von 0.5 m (siehe Abb.4/25).

Um die Sondierungen GE 37 und GE 38 zu kontrollieren, wurden an der gleichen Stelle seismische Messungen durchgeführt.

Das seismische Profil S 22 zeigt wegen der in der Nähe liegenden Bundesstraße nach Fürth und der nicht horizontalen Erdoberfläche schlechte Ergebnisse auf. Um die Fehler zu vermindern, wurde bei S 22 eine topographische Korrektur durchgeführt (siehe 4.1.2). Trotzdem konnten von der Auswertung des S22 keine ausreichenden Informationen bekommen werden. Es wurde eine Schichtgrenze bei der Tiefe um 6.0 m berechnet, die geologisch schwer zu deuten ist.

GE38/4

7-SCHICHTENFALL

SCHICHT	RHO	DICKE(M)
1	1597.31	.48
2	7734.68	2.40
3	3644.20	7.00
4	933.23	6.00
5	260.69	4.75
6	2339.38	2.65
7	50.77	UNENDLICH



Abb.4/25 : Modellversuch der Sondierung GE 38

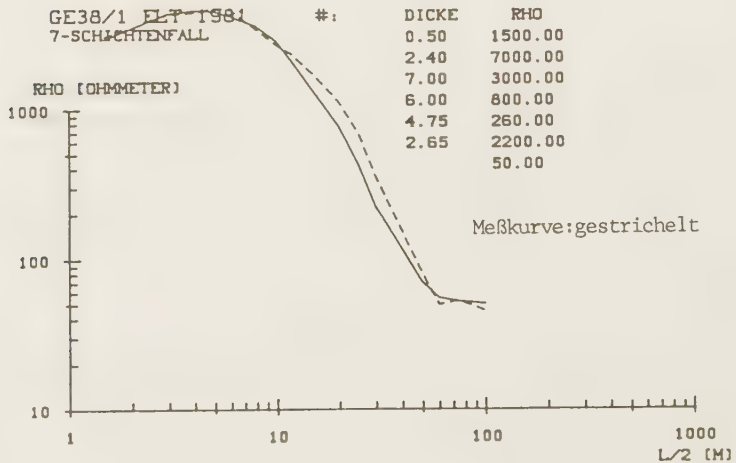


Abb.4/26 : Modell-und Meßkurven der Sondierung GE 38

Dagegen zeigt S 6 zuverlässigere Ergebnisse auf. Bei der Auswertung der auf Vierschichten deutenden Laufzeitkurve ist die Tiefe der Keuperoberfläche bei 22.75 m berechnet, die von der Tiefe beim Br.4 um 0.05 m abweicht. Die Quartärmächtigkeit bei dem südlichen Ende des Profils ist mit einem Wert von 17.8 m auch zuverlässig, weil die Quartärfüllungen ihre Mächtigkeiten in Richtung zur Ostfassung vermindern.

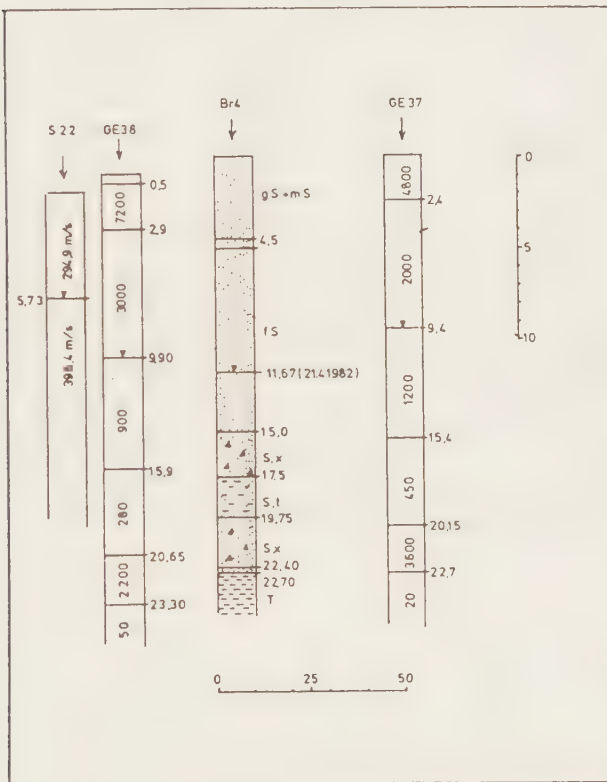


Abb.4/27 :Profil zum Vergleich der Geophysikmessungen mit dem geologischen Brunnenprofil Br.4

"GE 37 und GE 38 ;durchgeführt im April 1982"

Die bei der Tiefe von 8.80 m erfasste seismische Schicht deutet auf GW-erfüllte Sandlagen. Bei S 6 sind die Geschwindigkeiten in den GW-erfüllten Sandlagen mit einem Wert von 1481.4 m/s und in den Tonen der Lehr-

bergsschichten mit einem Wert von 2596.3 m/s berechnet. Die beiden Werte gelten mehr oder weniger im ganzen untersuchten Raum.

Im nördlichen Teil der Brunnen-Fassungen bzw. der Sondierungen GE 37 und GE 38 wurde das seismische Profil S 5 durchgeführt (siehe Abb. 4/28 und Tab. 4/3).

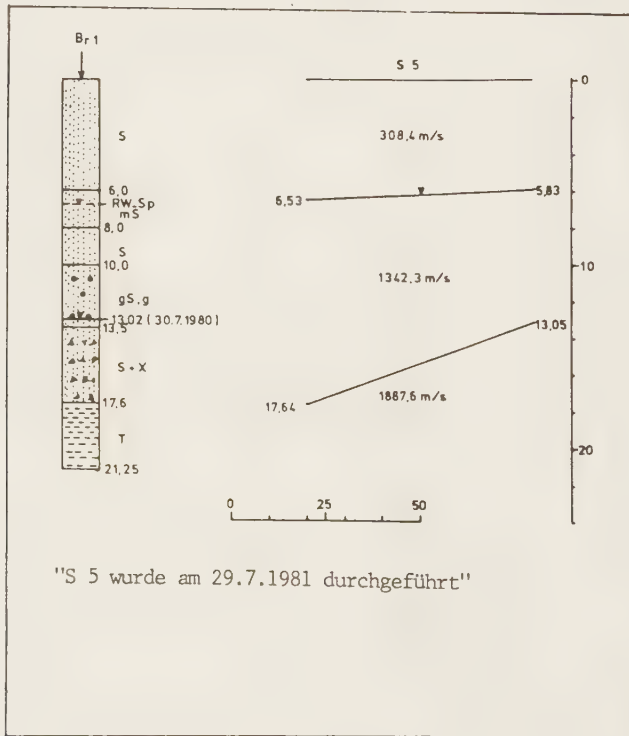


Abb. 4/28 : Profil zum Vergleich des Seismikprofils mit dem geologischen Brunnenprofil Br. 1

Dabei wurden die Werte für die Tiefe des GW-Flurabstandes mit 0,1 m und die Keuperoberfläche mit 0,04 m Unterschied von Schichtenfolge in Brunnen 1 berechnet. Diese niedrige Abweichung kommt vermutlich davon, daß die Laufzeiten annähernd auf einer Geraden liegen. Die Verminderung der Geschwindigkeit in den Lehrbergsschichten bei S 5 deutet die Verwitterungszone in den Tonen in Richtung nach Norden an, welche bei GE 38 auch bemerkbar war.

1	S5 ELT 1981 DEM	SPREAD LENGTH = 85.		
INPUT DATA				
LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	294.12	322.60	0.0000	0.0000
2	1333.33	1351.40	.0368	.0412
3	1666.66	2222.22	.0448	.0533

COMPUTED STRUCTURE						
LAYER	VELOCITY	THICKNESS A	THICKNESS B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	308.36	5.63	6.53		5.63	6.53
2	1342.30	7.22	11.12	-1.09	13.05	17.54
3	1587.04			-7.76		

Tab.4/3 : Auswertung des Seismikprofils S 5 "vgl. dazu Abb.4/28"

Die auf der Hauptterrasse durchgeführte S 24 (siehe Tab.4/4) liegt ca. 250 m westlich der Brunnen 1 und 2. Bei Berücksichtigung der Entnahmetrichter der Brunnen sollte der GW-Flurabstand nicht bei 7.0 m, sondern noch mehr in der Nähe der Erdoberfläche sein, welche bei S 24 berechnet wird. Es liegen hier keine Anhaltspunkte zur quantitativen Bestimmung des GW-Flurabstandes vor (siehe Abb.4/29). Da die Quartärmächtigkeit in Richtung zum S 24 abnimmt, passt sich die berechnete Tiefe (14.98 m) der Keuperoberfläche den geologischen Verhältnisse gut an.

1

S24 ELT 1982 DEM

SPREAD LENGTH = 60.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	1333.33	333.33	0.0000	0.0000
2	1333.33	1250.00	.0448	.0408
3	2000.00	2000.00	.0543	.0505

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNESS A	THICKNESS B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	1333.33	7.73	7.04		7.73	7.04
2	1290.27	7.25	7.49	.653	14.98	14.53
3	1798.21			-1.98		

Tab.4/4 : Auswertung des Seismikprofils S 24 "vgl. dazu Abb.4/29"

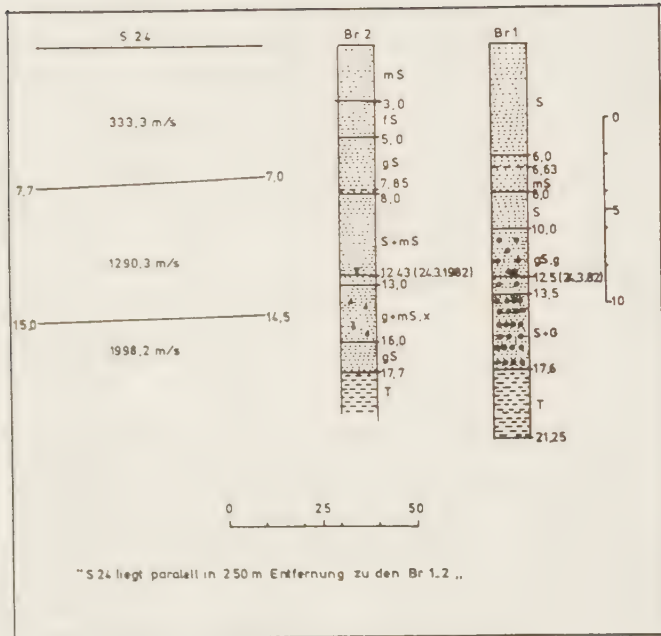


Abb.4/29 : Profil zum Vergleich von S 24 und Br.1 und 2
 "S 24 wurde am 15.3.1982 durchgeführt."

Die bis jetzt erhaltenen geophysikalischen Kenntnisse sollten auch für die Sondierung GE 5 und Profil S 3 gelten. Diese Messungen liegen ebenfalls auf der Terrasse und in der Nähe der Brunnenfassungen-Ost der Eltersdorfer-Gruppe. Bei den Modellversuchen der GE 5 wurde eine Tiefe von 16.2 m für die Keuperoberfläche bestimmt (siehe Abb.4/30 und 4/31).

Der GW-Spiegel liegt bei der Sondierung GE 5 2.4 m tief. Das Profil S 3, das ca. 30 m östlich von GE 5 durchgeführt wurde, zeigt eine Laufzeitkurve von Dreischichten. Die zweite Schicht deutet den GW-Spiegel an, dessen Lage uns von GE 5 und von den Brunnen bekannt war. Die Quartär/Keupergrenze hat sich recht gut an die Daten aus Br.5 und GE 5 (siehe Abb.4/32) anpassen lassen.

GES/1

5-SCHICHTENFALL

SCHICHT	RHO	DICKE(M)
1	4390.53	0.68
2	25124.43	1.69
3	2344.62	11.64
4	813.25	2.03
5	90.23	UNENDLICH



Abb.4/30 : Modellversuch der GE 5

GES/3 ELT 1981
5-SCHICHTENFALL

#:	DICKE	RHO
	0.70	3600.00
	1.70	17000.00
	11.80	2344.00
	2.00	1200.00
		100.00

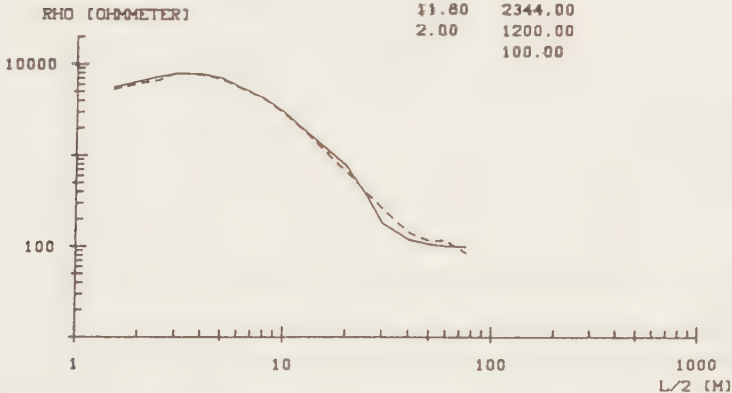


Abb.4/31 : Modell- und Meßkurven der GE 5 "Meßkurve gestrichelt"

Die Modellversuche GES/1 in Abb.4/30 und GES/3 in Abb.4/31 unterscheiden sich hauptsächlich durch ^{die} Widerstände der Schichten.

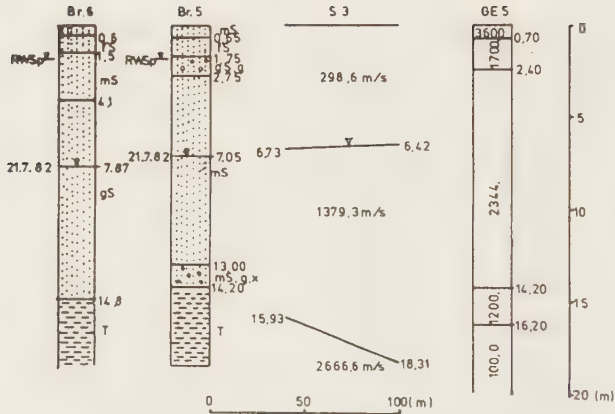


Abb.4/32 : Profil zum Vergleich der Geophysikmessungen mit den geologischen Daten der Brunnen 5 und 6
 "GE 5 und S 3 wurden am 29.7.1981 durchgeführt."

1 S3 FLT 1981 DEM

SPREAD LENGTH = 85.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	294±10	303.03	0.0000	0.0000
2	1428±57	1333.33	+0440	+0420
3	2857±10	2500.00	+0562	+0575

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNESSES A	THICKNESSES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	298.57	6.73	6.42		5.73	5.42
2	1379.27	9.20	11.89	.44	15.93	19.31
3	2666.57			.40		

Tab.4/5 : Auswertung des Seismikprofils S 3 ;vgl. dazu Abb.4/32

In der Nähe von Gründlach liegen die Sondierung GE 7 und das Seismikprofil S 31. Der Brunnen 40, der in unmittelbarer Nähe liegt, zeigt die Keupergränze bei einer Tiefe von 3.2 m. Es ist bei der Sondierungskurve der GE 7 leicht zu erkennen, dass sie eine Zweischichtenkurve ist. Die graphische Auswertung der Sondierung GE 7 gibt einen Mächtigkeitswert von 2.5 m (siehe Abb.4/33) für die Deckschichten an.

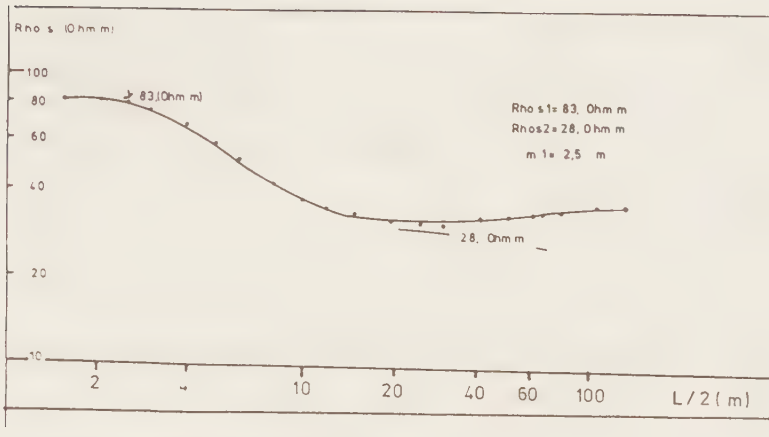


Abb.4/33 : Graphische Auswertung der GE 7

GE7/1 ELT 1981
2-SCHICHTENFALL

#:	DICKE	RHO
	3.20	84.00
		30.00

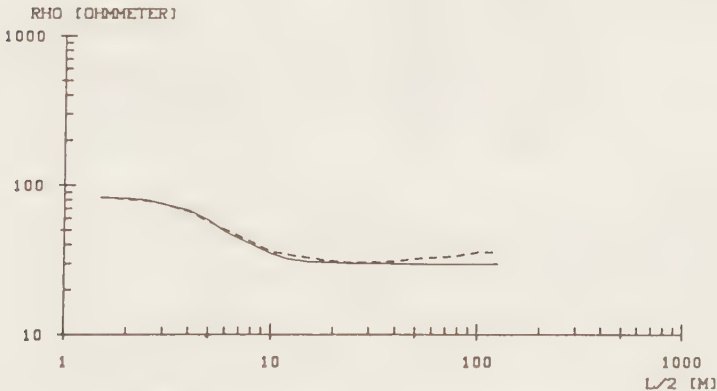


Abb.4/34 : Meß- und Modellkurven der GE 7 "Meßkurve gestrichelt"

Dagegen sehen bei den Modellversuchen mit dem Mächtigkeitswert von 3,2 m die Modell- und die Meßkurven identischer aus (siehe Abb.4/34). Der hintere Ast der Meßkurve weicht wegen der Sandführung in den tieferen Bereichen der Lehrbergsschichten von der Modellkurve ab. In Abb.4/35 sind die Verhältnisse der GE 7, S 31 und B40 synoptisch dargestellt. Die Laufzeitkurve von S 31 gibt einen deutlichen Zweischichtenfall, dessen Berechnung einen Mächtigkeitswert von 3,0-3,2 m für die erste Schicht ergibt. Hierbei handelt es sich eindeutig um die quartären Sande und Kiese.

1

CLT S31 1982 DEM

SPREAD LENGTH = 80.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	416.60	416.60	0.0300	0.0220
2	2000.00	2000.00	0.0150	0.0140

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNES A	THICKNES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	416.60	3.20	2.98		3.20	2.98
2	2000.00			.00		

Tab.4/6 : Auswertung des Seismikprofils S 31;vgl dazu Abb.4/35

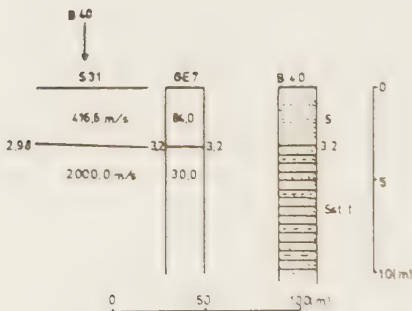


Abb.4/35 : Profil zum Vergleich der Geophysikmessungen mit B 40
 "S 31 wurde im April 1982, GE 7 wurde am 29.7.1981 durchgeführt"

Die auf der Hauptterrasse durchgeführten geophysikalischen Messungen wurden dann auf die Regnitzaue erweitert. In diesen Bereichen des untersuchten Raumes sind weniger Bohrungen vorhanden. Dort existieren einige Pegel; aber sie erreichen den Keuper nicht. Trotzdem sind diese Pegel eine große Hilfe für die Auflösung der geoelektrischen Sondierungen. Mit ihrer Hilfe konnte zumindest der obere Teil des Quartärs zuverlässiger ausgewertet werden.

Die Sondierungen GE 39, GE 8 und das Seismikprofil S 32 sind in unmittelbarer Nähe von P5 durchgeführt. Der Pegel 5, der ebenfalls nicht bis in den Keuper reicht, erfasst den Ruhewasserspiegel bei 2.1 m und hört bei einer Tiefe von 5.5 m auf (siehe Abb. 4/36). Da die geophysikalischen Messungen in verschiedenen Zeiträumen durchgeführt waren, ist es schwer, die Seismik-Sondierungen mit Pegel 5 zu vergleichen.

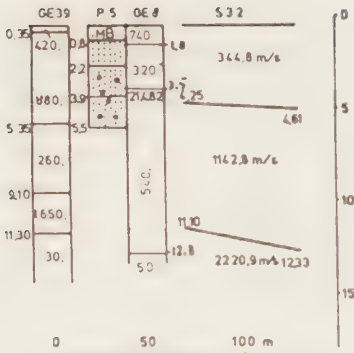


Abb.4/36: Profil zum Vergleich der Geophysik-Messungen mit dem Pegel 5 "GE8 am 4.8.1981, GE 39 am 1.4.1982 und S 32 am 10.4.1982"

Von mehreren Modellversuchen wird die GE 8/2 ausgewählt, bei der die Meß- und Modellkurven einigermaßen identisch aussehen (vgl. Abb.4/37). Die berechnete Tiefe des GW-Flurabstandes weicht wenig von der durch P5 gemessenen Tiefe ab. Die bei der Sondierungskurve zum Ausdruck kommende zweite Schicht, mit der Mächtigkeit von 2.5 m, deutet auf eine schwach schluffige Sandlage, die bei der Beschreibung des P5 unbeachtet geblieben sein könnte (siehe Abb.4/36).

Da die geologischen Verhältnisse im Untergrund unbekannt waren, konnten die Schichtfolgen, die möglicherweise wegen der Schichtunterdrückung nicht zum Ausdruck gekommen sind, nicht identifiziert werden.

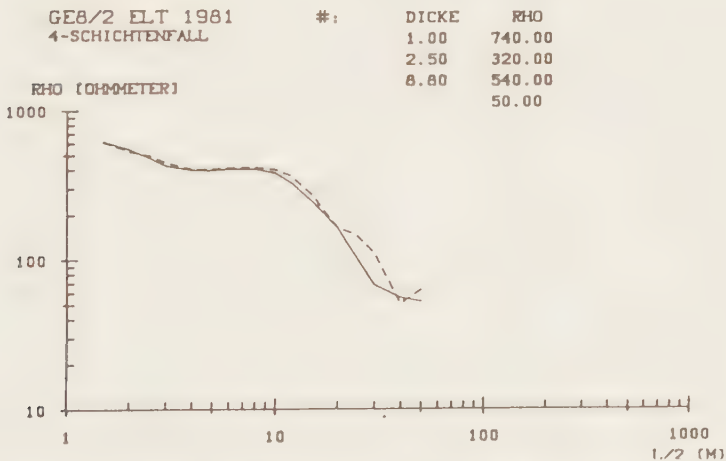


Abb.4/37 : Modell- und Meßkurven der Sondierung GE 8 "Meßkurve gestrichelt"

Trotz der nicht ganz identischen Meß- und Modellkurven bei GE 39 passen die berechneten Modelle zu den geologischen Verhältnissen (siehe Abb. 4/36 und 4/38). Der hintere Ast der Meßkurve ^{ist} nicht identisch mit der Modellkurve, was an den geneigten Schichtgrenzen liegen kann. Die Meßkurve wurde ausserdem von der mehr oder weniger lehmigen, schluffigen Deckschicht beeinflusst.

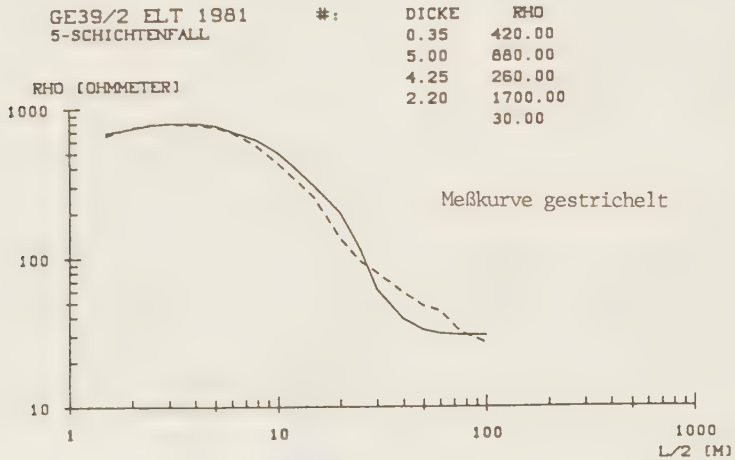


Abb. 4/38 : Modell- und Meßkurven der Sondierung GE 39

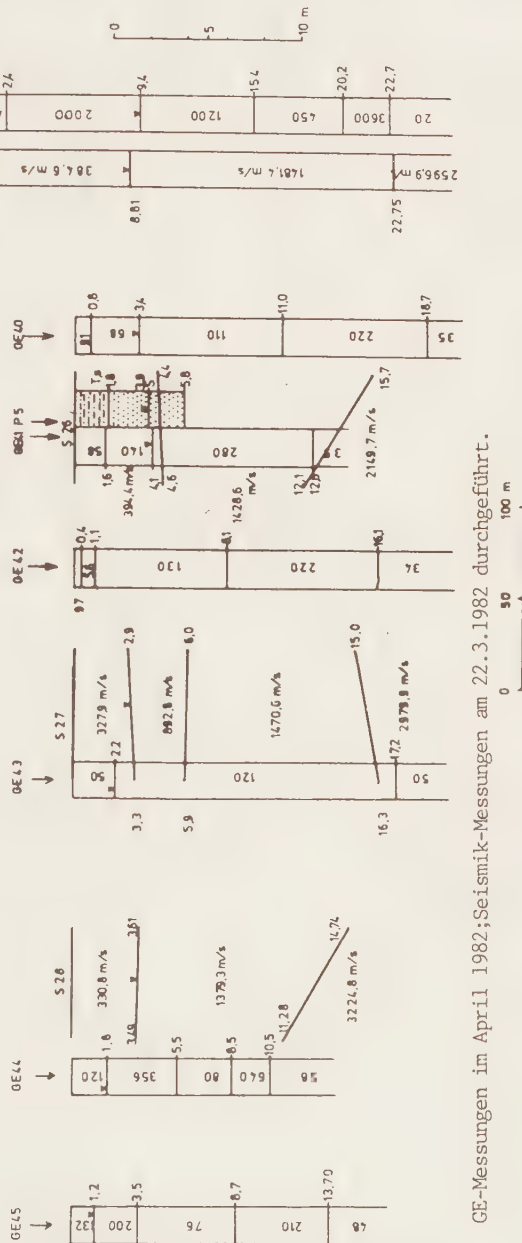
S 32 FLT 20.4.1982 DEM				SPREAD LENGTH = 80.		
INPUT DATA						
LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B		
1	344.83	344.83	0.0000	0.0000		
2	1170.47	1111.11	.0255	.0235		
3	2222.22	2222.22	.0380	.0345		
COMPUTED STRUCTURE						
LAYER	VELOCITY	THICKNES A	THICKNES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	344.83	4.61	4.25		4.61	4.25
2	1142.81	7.72	6.77		12.33	11.02
3	2220.99			.52 -1.46		

Tab. 4/7 : Auswertung des Seismikprofils S 32; vgl. dazu Abb. 4/36

Um den Verlauf des begrabenen Talstückes der Regnitz zu bestimmen, wurden die Messungen auf den Profilen senkrecht zur Regnitz durchgeführt.

II Gemessen (24.3.1982)

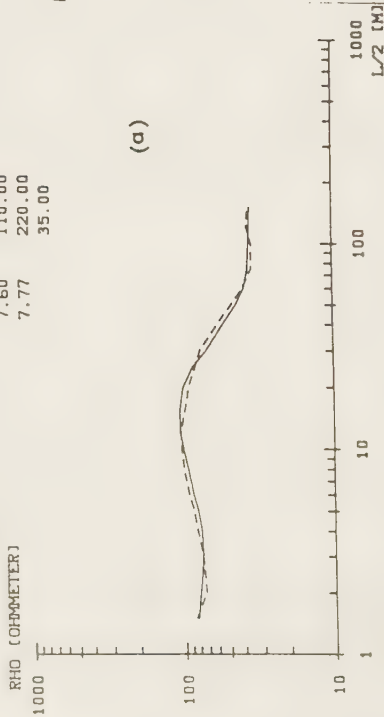
III Berechnet durch geophysikalischen Methode



GE-Messungen im April 1982; Seismik-Messungen am 22.3.1982 durchgeführt.

GE40/2 ELT 1981
5-SCHICHTENFALL

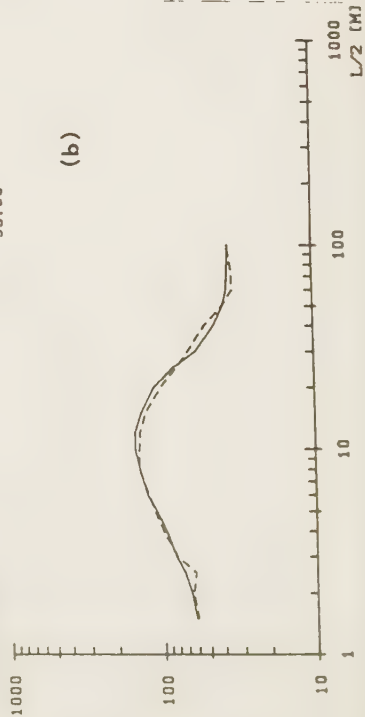
#:	DICKE	RHO
	0.80	91.00
	2.56	68.00
	7.60	110.00
	7.77	220.00
		35.00



(a)

GE41/1 ELT 1981
4-SCHICHTENFALL

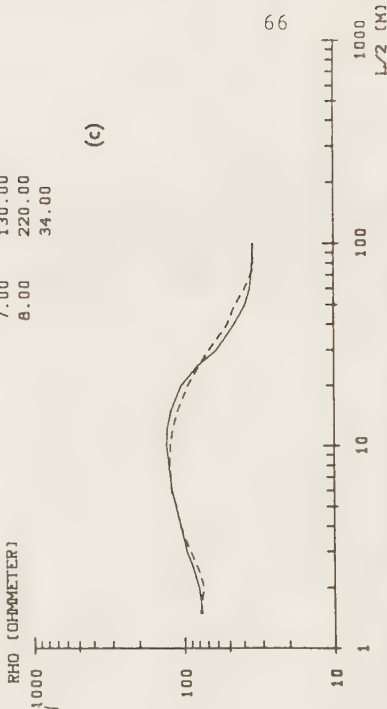
#:	DICKE	RHO
	1.60	58.00
	2.50	140.00
	8.50	280.00
		35.00



(b)

GE42/2 ELT 1981
5-SCHICHTENFALL

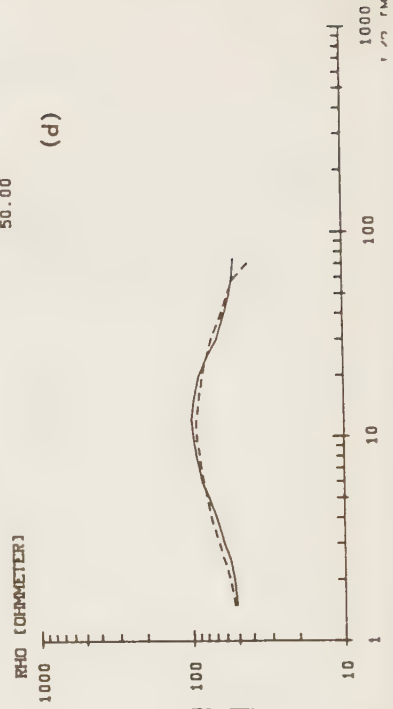
#:	DICKE	RHO
	0.40	97.00
	0.70	56.00
	7.00	130.00
	8.00	220.00
		34.00



(c)

GE43/1 ELT 1981
3-SCHICHTENFALL

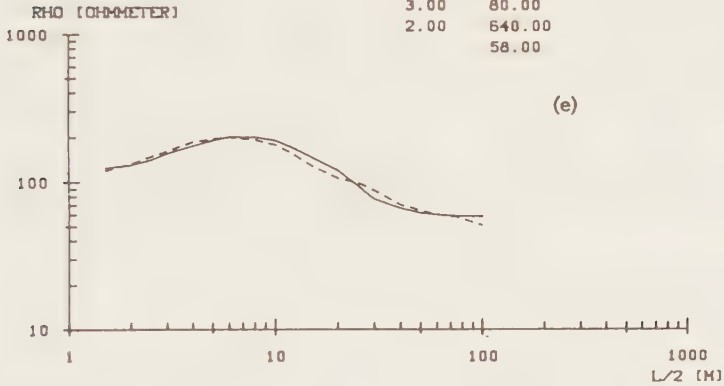
#:	DICKE	RHO
	2.20	50.00
	15.00	120.00
		50.00



(d)

GE44/3 ELT 1981
5-SCHICHTENFALL

#:	DICKE	RHO
	1.90	119.00
	3.60	356.00
	3.00	80.00
	2.00	640.00
		58.00



GE45/2 ELT 1981
5-SCHICHTENFALL

#:	DICKE	RHO
	1.20	132.00
	2.30	200.00
	5.20	76.00
	5.00	210.00
		48.00

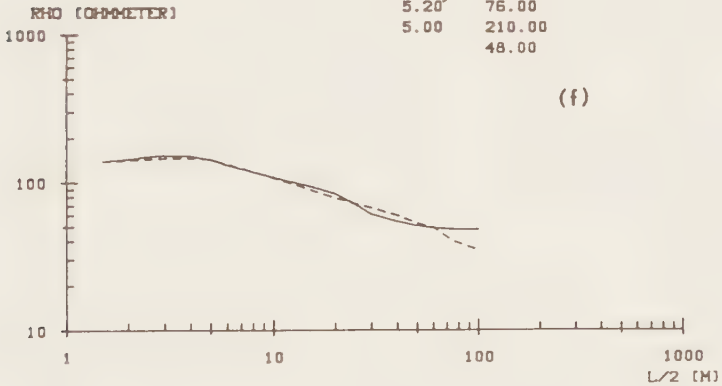


Abb.4/40 (2) : Modell-und Meßkurven der Sondierungen GE44 und GE 45

"GE 40;in Abb.4/40 (1) a GE 42;in Abb.4/40 (1) c
GE 41;in Abb.4/40 (1) b GE 43;in Abb.4/40 (1) d"

(vgl. dazu Abb.4/39)

"Meßkurven gestrichelt"

1

S26 ELT 22.3.1982 DEM

SPREAD LENGTH = 75.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	347.85	350.88	0.0000	0.0000
2	1428.57	1428.57	.0242	.0255
3	2222.22	2083.33	.0365	.0338

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNEES A	THICKNEES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	347.37	4.36	4.59		4.36	4.59
2	1428.57	11.36	7.51	.00	15.71	12.10
3	2149.15			1.64		

Tab.4/8 : Auswertung des Seismikprofils S 26;vgl.dazu Abb.4/39

1

S77 ELT 22.3.1982 DEM

SPREAD LENGTH = 90.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	322.53	333.33	0.0000	0.0000
2	909.09	877.20	.0186	.0157
3	1512.15	1428.57	.0242	.0230
4	2857.14	3125.00	.0378	.0350

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNEES A	THICKNEES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	327.96	3.28	2.94		3.28	2.94
2	892.84	2.64	3.09	.40	5.92	6.03
3	1470.25	10.39	8.94	.34	15.31	14.97
4	2779.85			-3.07		

Tab.4/9 : Auswertung des Seismikprofils S 27;vgl.dazu Abb.4/39

1

S28 ELT 22.3.1982

SPREAD LENGTH = 90.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	332.58	338.98	0.0000	0.0000
2	1428.57	1333.33	.0212	.0206
3	3703.70	2857.14	.0363	.0312

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNEES A	THICKNEES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	330.78	3.61	3.49		3.61	3.69
2	1779.26	11.13	7.78	.49	14.74	11.28
3	3224.78			1.75		

Tab.4/10 : Auswertung des Seismikprofils S 28;vgl.dazu Abb.4/39

Die geoelektrischen Sondierungen GE 40, GE 41, GE 42, GE 43, GE 44, GE 45 und die seismischen Profile S 26, S 27, S 28 wurden in geringen Abständen auf einem Profil durchgeführt. Die Verlängerung des Profils in Richtung Osten erfaßt auch die Sondierung GE 37 und das Seismikprofil S 6 (siehe Abb. 4/39 und Profil HH in Anlage 12).

Die Widerstände, die bei GE 37 berechnet waren, lassen sich nicht auf die oben erwähnten Sondierungen übertragen, da sie nicht auf der Hauptterrasse durchgeführt worden sind. Die Ergebnisse der Auswertungen lassen sich aber miteinander vergleichen.

Die raschen Faziesänderungen im Quartär erlauben keinen Vergleich der Schichtfolgen und der Mächtigkeiten. Da die Sande und Kiese oftmals stark schluff- und tonhaltig sind, gestaltete sich die Festlegung der GW-Oberfläche meist als sehr problematisch. Die vermutete GW-Oberfläche wurde mit Hilfe der geophysikalischen Ergebnisse in der Abb. 4/39 aufgezeichnet (siehe Abb. 4/39). Dagegen lassen sich die Quartär- und die Keupergesteine bei den Sondierungskurven leicht trennen, da die Kiese, Sande und Schluffe des Quartärs einen höheren spez. Widerstand aufweisen als die Tone der Lehrbergsschichten (siehe Abb. 4/40 (1) und (2)).

Bei den Sondierungen auf diesem Profil beginnt die Schichtenfolge meist mit einer lehmigen oder tonigen Deckschicht unterschiedlicher Mächtigkeit (siehe Abb. 4/39 und Abb. 4/40 (1) b-d). Bei den Sondierungen der GE 40 und GE 42 tritt diese Deckschicht als zweite Schicht auf und könnte auch noch als Deckschicht betrachtet werden (siehe Abb. 4/40 (1) a-c).

Die tonigen Deckschichten zeigen die spez. Widerstände bei GE 40 68.0 Ω m bei GE 41 58.0 Ω m, bei GE 42 56.0 Ω m und bei GE 43 50.0 Ω m. Dagegen liegen die Widerstände der schluffigen GW-freien Sandschichten an GE 44 bei 120.0 Ω m und an GE 45 bei 132.0 Ω m. GW-erfüllte Sand- und Kiesschichten weisen Widerstände zwischen 76.0 und 280.0 Ω m auf, je nach ihren Schluff- und Tonbeimengungen. Die Tone der Lehrbergsschichten haben bei den Sondierungen Widerstandswerte zwischen 20.0 und 50.0 Ω m (siehe die Sondierungskurven in der Abb. 4/40 (1) und (2)).

Die durchgeführten Sondierungen wurden mit den Seismikprofilen kontrolliert und für die Mächtigkeiten der Schichten wurden mehr oder weniger gleiche Ergebnisse erzielt (siehe Tab. 4/8, 4/9, 4/10 und Abb. 4/39). Bei den Seismikprofilen sind die Geschwindigkeiten in:

- GW-freien Schichten mit 330.0-350.0 m/s
- GW-erfüllten Sand- und Kieslagen mit 1380.0-1470.0 m/s
- Tonen der Lehrbergsschichten mit über 2000.0 m/s berechnet.

Die Neigungen der Schichtgrenze zwischen Keuper und Quartär passen sich den Messungen der Geoelektrik und den geologischen Verhältnissen an. Das begrabene Talstück der Regnitz hat sich bei den Messungen der GE 37, S 6 GE 40 bis GE 41 bemerkbar gemacht, von dem HAARLÄNDER, 1971 berichtete.

Außer diesem Talstück macht sich ein zweites Talstück in der Nähe von GE 42, GE 43 und GE 44 bemerkbar, dessen Tiefe noch geringer ist (siehe Abb. 4/39).

Um die oben genannten begrabenen Talstücke der Regnitz zu verfolgen, wurden die Geophysikmessungen im Norden des Profils HH' durchgeführt (siehe Anlage 1).

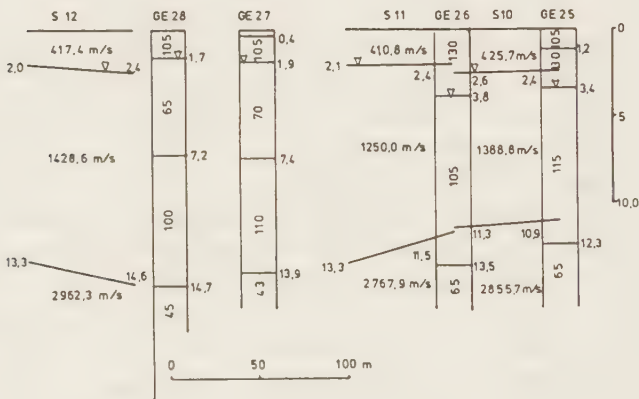


Abb.4/41 : Profil zum Vergleich der Geophysikmessungen

GE 25, GE 26, GE 27, GE 28 und S 10, S 11, S 12 liegen nördlich dieses Profils HH' und senkrecht zur Regnitz. Bei der Auswertung dieses Profils macht sich eine Vertiefung der Keuperoberfläche bemerkbar; ob aber diese Vertiefung die Verlängerung des Talstückes ist, von dem HAARLÄNDER, 1971 berichtete (siehe Abb. 4/41), war zunächst ungeklärt. Um diese Frage zu beantworten, sollte das Profil in östlicher Richtung verlängert werden. Aber da hier Besiedlungen wie Königsmühle, Eltersdorf und Erlangen-Bruck liegen, konnte es nicht durchgeführt werden. Ausserdem liegt in der genannten Umgebung die Bundesstraße nach Fürth. Die geophysikalischen Messungen wurden dann in westliche Richtung verlängert.

1 S10 FLT 1782 DEM SPREAD LENGTH = 50.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	434.78	415.67	0.0000	0.0000
2	1391.35	1428.57	.0107	.0110
3	2857.14	2857.14	.0218	.0225

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNESS A	THICKNESS B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	425.78	2.39	2.46		2.39	2.46
2	1389.14	8.49	8.80	-51	10.89	11.26
3	2855.70			1.38		

Tab.4/11 : Auswertung des Seismikprofils S 10;vgl dazu Abb.4/41

1 S11 FLT 1782 DEM SPREAD LENGTH = 50.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	404.83	416.67	0.0000	0.0000
2	1210.00	1250.00	.0095	.0090
3	3333.33	2380.96	.0259	.0230

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNESS A	THICKNESS B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	410.77	2.07	1.96		2.07	1.96
2	1250.00	11.22	9.55		13.28	11.90
3	2767.91			4.62		

Tab.4/12 : Auswertung des Seismikprofils S 11;vgl.dazu Abb.4/41

1 S12 FLT 1782 DEM SPREAD LENGTH = 75.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	400.00	434.78	0.0000	0.0000
2	1424.57	1424.57	.0093	.0112
3	2857.14	3076.92	.0235	.0265

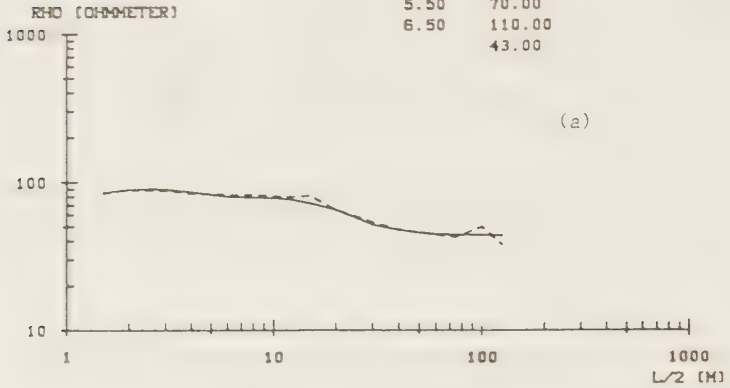
COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNESS A	THICKNESS B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	417.79	2.07	2.44		2.03	2.44
2	1424.57	11.31	12.16	.00	13.34	14.50
3	2762.34			-1.17		

Tab.4/13 : Auswertung des Seismikprofils S 12;vgl.dazu Abb.4/41

GE27/1 ELT 1982
5-SCHICHTENFALL

#:	DICKE	RHO
	0.40	62.00
	1.50	105.00
	5.50	70.00
	6.50	110.00
		43.00



GE28/3 ELT 1982
4-SCHICHTENFALL

#:	DICKE	RHO
	1.70	105.00
	5.50	65.00
	7.50	100.00
		45.00

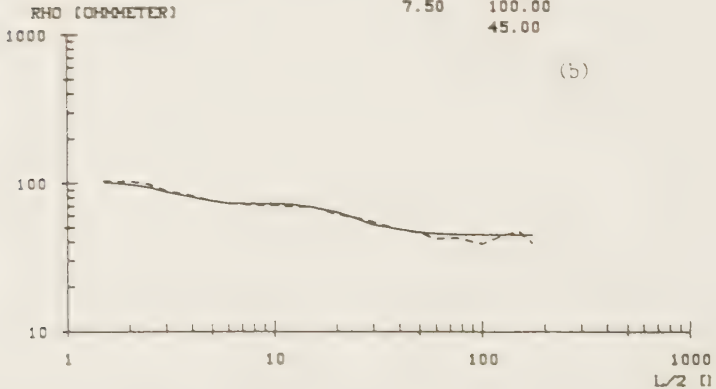


Abb.4/42 : Modell- und Meßkurven der Sondierungen GE 27 (a)
und GE 28 (b). "Meßkurven gestrichelt"

Die Seismikmessungen S16, S 13 und S 17 liegen ca. 120.0 m nördlich vom oben genannten Profil. In diesem Bereich konnten keine geoelektrische Sondierungen durchgeführt werden, weil die Oberfläche des Geländes nach lange anhaltendem Regen zu feucht war. Zu einem späteren Zeitpunkt wurde auf einen weiteren Versuch verzichtet, da die seismischen Profile zuverlässige

Ergebnisse ergeben haben (siehe Abb.4/43).Bei diesem Profil macht sich das gleiche Talstück bemerkbar, welches bereits in Abb.4/41 zu erkennen war.

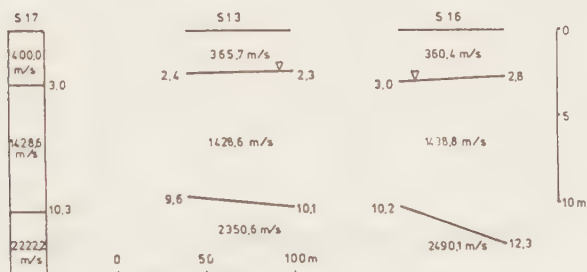


Abb.4/43 : Vergleich der seismischen Profile" S 17 wurde ohne Gegenschuß durchgeführt"

Die Krümmungen beinhaltenden Meßkurven von GE 27 und GE 28 ergeben gute Auswertungsergebnisse (siehe Abb.4/42 (a) und (b)).Bei diesen Kurven zeigen die Tone der Lehrbergsschichten einen Widerstandswert von 43.0 bis 45.0 Ohm m, der in dem untersuchten Raum speziell für Tone der Lehrbergsschichten charakterisiert ist. Dagegen bei GE 25 und GE 26 zeigen die Lehrbergsschichten vermutlich wegen der Sandführung hohe Widerstandswerte. Die berechneten Tiefen der Keuperoberfläche passen bei beiden Messungen mehr oder weniger gut zu den benachbarten Sondierungen und zu den Seismikprofilen (siehe Abb.4/41).

Die Auswertungen der in unmittelbarer Nähe und auf gleichem Profil stehenden Seismikmessungen geben keine mehrdeutigen Ergebnisse. Die berechneten Schichtgrenzen passen sich mehr oder weniger gut an die angenommenen Schichtgrenzen an (siehe Abb.4/41). Die seismischen Geschwindigkeiten, die in den verschiedenen Schichten gemessen wurden, weichen nicht viel voneinander ab.

Die seismischen Geschwindigkeiten sind in:

-GW-freien Sandlagen 410.0-425.0 m/s ,

-GW-erfüllten Sandlagen 1250.0-1428.0 m/s,

-den Tönen der Lehrbergsschichten 2767.0-2962.0 m/s berechnet. Die

zweite seismische Grenze der drei Seismikprofile passt zum Niveau des GW-Spiegels, der aus den geoelektrischen Sondierungen bestimmt wurde.

1 S13 ELT 1702 DE4 SPREAD LENGTH = 85.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	363.64	367.65	0.0000	0.0000
2	1423.57	1428.57	.0128	.0120
3	2500.00	2222.22	.0210	.0210

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNESS A	THICKNESS B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	365.65	2.42	2.27		2.42	2.27
2	1428.57	7.13	7.37	.00	9.55	10.14
3	2350.26			2.58		

Tab.4/14 : Auswertung des Seismikprofils S 13;vgl.dazu Abb.4/43

1 S15 ELT 1702 DEH SPREAD LENGTH = 85.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	367.14	363.64	0.0000	0.0000
2	1470.57	1408.45	.0160	.0148
3	2500.00	2300.00	.0245	.0260

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNESS A	THICKNESS B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	360.77	2.93	2.75		2.98	2.75
2	1439.63	7.17	9.57	.32	10.15	12.32
3	2499.18			-1.23		

Tab.4/15 : Auswertung des Seismikprofils S 16;vgl.dazu Abb.4/43

1 S17 ELT 1902 DEH OHNE 3. SCHNITT SPREAD LENGTH = 85.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	400.00	400.00	0.0000	0.0000
2	1423.57	1428.57	.0144	.0144
3	2222.22	2222.22	.0226	.0226

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNESS A	THICKNESS B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	400.00	3.00	3.00		3.00	3.00
2	1423.57	7.32	7.32	.00	10.32	10.32
3	2222.22			.00		

Tab.4/16 : Auswertung des Seismikprofils S 17;vgl.dazu Abb.4/43

1 S152 ELT 1932 DEM SPREAD LENGTH = 85.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	370.37	370.37	0.0000	0.0000
2	1423.57	1369.86	.0205	.0193
3	2003.00	1818.18	.0277	.0255

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNES A	THICKNES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	370.37	3.94	3.71		3.94	3.71
2	1398.58	7.06	6.05	.33	10.99	9.75
3	1904.31			1.48		

Tab.4/17 : Auswertung des Seismikprofils S 152;vgl.dazu Abb.4/44

1 S151 ELT 1942 DEM SPREAD LENGTH = 85.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	399.03	384.62	0.0000	0.0000
2	1041.7	1000.00	.0105	.0120
3	1925.08	2500.00	.0190	.0260

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNES A	THICKNES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	399.03	2.20	2.51		2.20	2.51
2	1020.37	4.55	7.69	.48	6.75	10.20
3	2164.79			-4.91		

Tab.4/18 :Auswertung des Seismikprofils S 153;vgl.dazu Abb.4/44

1 S154 ELT 1982 DEM SPREAD LENGTH = 65.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	546.54	526.32	0.0000	0.0000
2	1250.00	1250.00	.0080	.0115
3	2223.22	2500.00	.0165	.0215

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNES A	THICKNES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	533.43	2.30	3.39		2.36	3.19
2	1250.00	5.82	6.73	.00	8.18	10.12
3	2351.34			-2.11		

Tab.4/19 : Auswertung des Seismikprofils S 154;vgl.dazu Abb.4/44

Um über das südlichste Teil des untersuchten Raumes Information zu bekommen, wurden die geoelektrischen Sondierungen GE 46-47-48-49 und 50 in Abständen von ca. 100 m auf einem Profil (siehe Abb. 4/45 und Profil II in Anlage 13) quer zur Regnitz durchgeführt. Die geoelektrischen Sondierungen konnten wegen der Vegetation auf den Getreidefeldern nicht direkt mit den Seismikprofilen kontrolliert werden; sie liegen aber in ihrer unmittelbaren Nachbarschaft, so daß eine gute Interpretation möglich war.

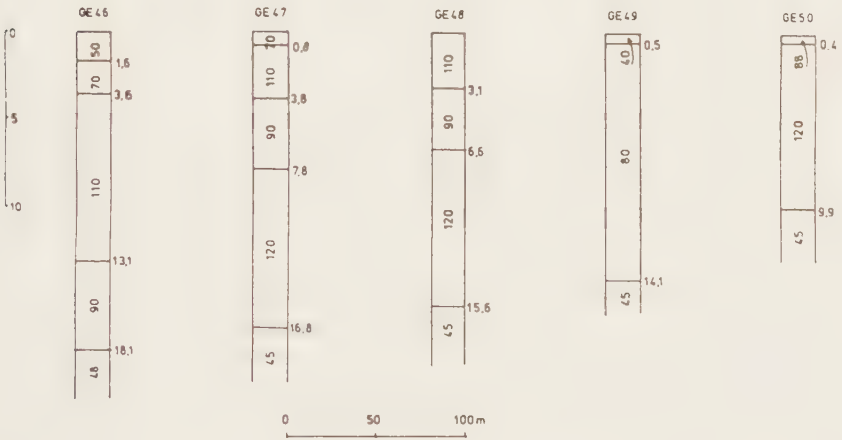


Abb. 4/45 : Vergleich der Geoelektrik-Sondierungen

Die Tiefe der Keuperoberfläche verringert sich in westlicher Richtung, wo die Keuperschichten an der Erdoberfläche auftreten; dagegen läßt sich die tiefste Keuperoberfläche bei GE 46 (siehe Abb. 4/45 und Abb. 4/46-(1)) finden, also in der Nähe der Regnitz (siehe Anlage 1 und 2). Außer der Sondierung GE 48 schirmt eine lehmige Deckschicht bei jeder Sondierung den Untergrund ab. Die Sondierungskurven sind von dieser Deckschicht stark beeinflusst. Bei den Modellversuchen werden die Widerstände der GW-erfüllten Sandlagen mit den Werten von 90.0-120.0 Ohm m berechnet. Die lehmige Deckschicht bedingt spez. Widerstände von 50.0-80 Ohm m, je nach ihrem Gehalt an Poren-/Kapillarwasser. Die Tone der Keuperschichten zeigen Widerstandswerte um 45 Ohm m, welche bei fast allen Sondierungen annähernd gleich waren (siehe Sondierungskurven in Abb. 4/46-(1) und 4/46-(2)).

GE46/1 VACH 1982
5-SCHICHTENFALL

#:	DICKE	RHO
	1.60	50.00
	2.00	70.00
	9.50	110.00
	5.00	90.00
		48.00

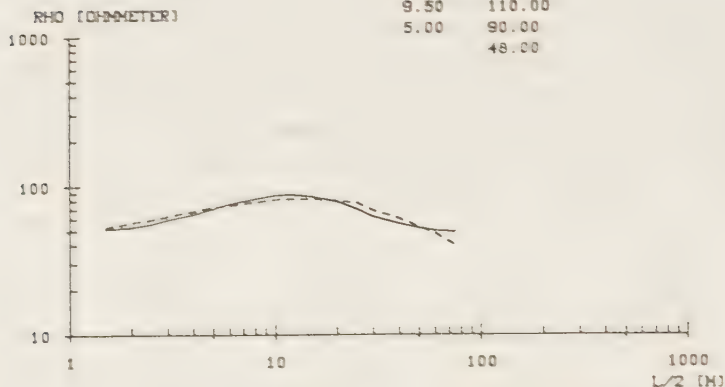


Abb.4/46-(1): Modell- und Meßkurven der Sondierung GE 46

zu " GE 47-48-49-50 vgl.

Abb.4/46-(2) "(Meßkurven gestrichelt)

Nachdem die geoelektrischen Sondierungen und die Seismikprofile auf den Querprofilen zur Regnitz durchgeführt worden waren und bei den dort gewählten engen Abständen speziell bei den Auswertungen sehr viel Zeit erforderten, wurden die restlichen geophysikalischen Messungen vereinzelt über den ganzen untersuchten Raum verteilt. Um die Einzel-Messungen auf geologischen Profilen mitberechnen zu können, wurden die Stellen der Messungen nach geologischen Gesichtspunkten ausgewählt. Die Ergebnisse der Sondierungen und der Seismikprofile wurde in den Abbildungen dargestellt. Außerdem sind sie bei den Sondierungskurven und bei den Seismikauswertungen gesondert ausgewiesen (vgl. Abb. 4-47 bis Abb. 4-60 und Tab. 4-20 bis 4-32).

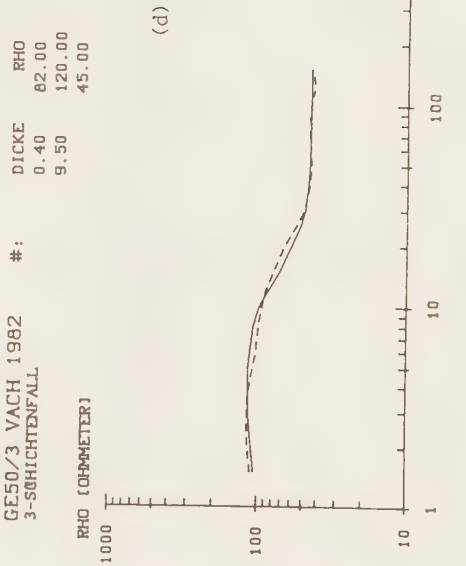
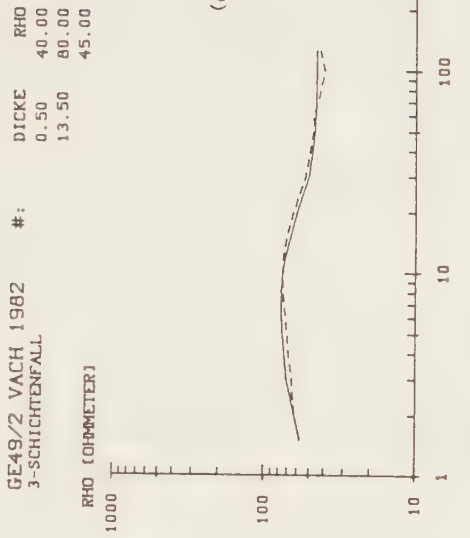
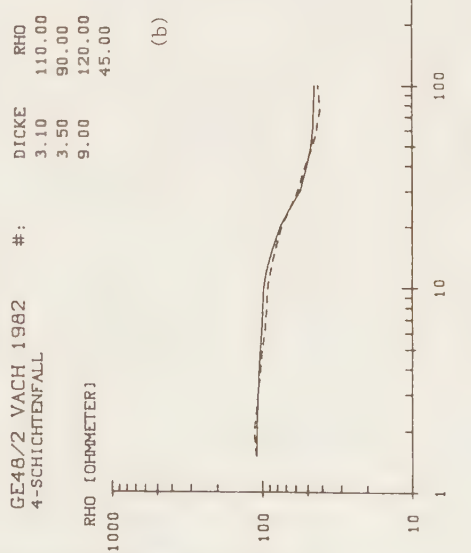
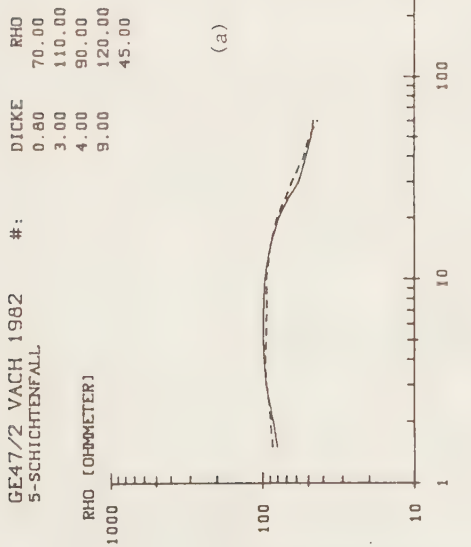


Abb.4/46-(2) :Modell-und Meßkurven der Sondierung"GE 47-48-49-50"

"Meßkurven gestrichelt"

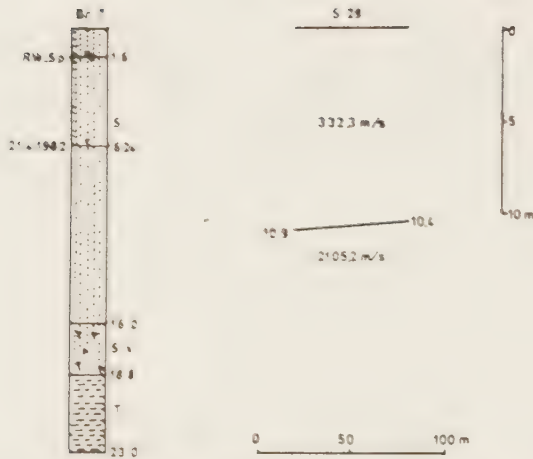


Abb.4/47 : Vergleich des Seismikprofils S 29 mit dem geologischen Profil des Brunnens Br.7

1 11. JUL 1982 DEN SPREAD LENGTH = 80.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	331.16	333.33	0.0000	0.0000
2	2222.22	2222.00	.0648	.0615

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNESS A	THICKNESS B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	770.25	10.90	10.35		10.90	10.35
2	2175.19			.48		

Tab.4 20 : Auswertung des Seismikprofils S 29/1.Möglichkeit;vgl dazu Abb.4/47

1 11. JUL 1982 DEN SPREAD LENGTH = 80.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	331.16	333.33	0.0000	0.0000
2	2522.22	2222.00	.0647	.0615

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNESS A	THICKNESS B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	770.25	10.87	10.33		10.87	10.33
2	2221.91			.96		

Tab.4/21:Auswertung des Seismikprofils S29/2.Möglichkeit

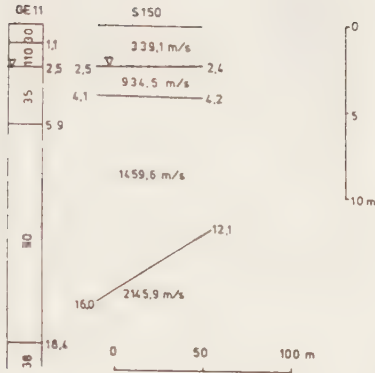
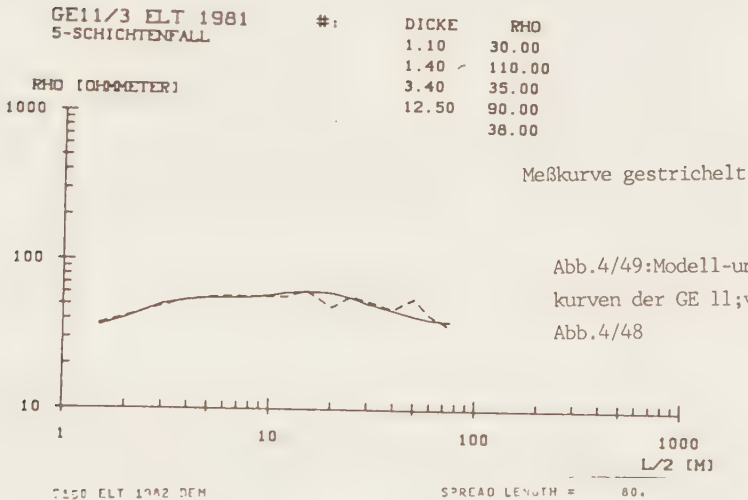


Abb.4/48: Vergleich der Sondierung
GE 11 mit dem Seismikprofil S 150



1550 ELT 1982 DEM

SPREAD LENGTH = 80.

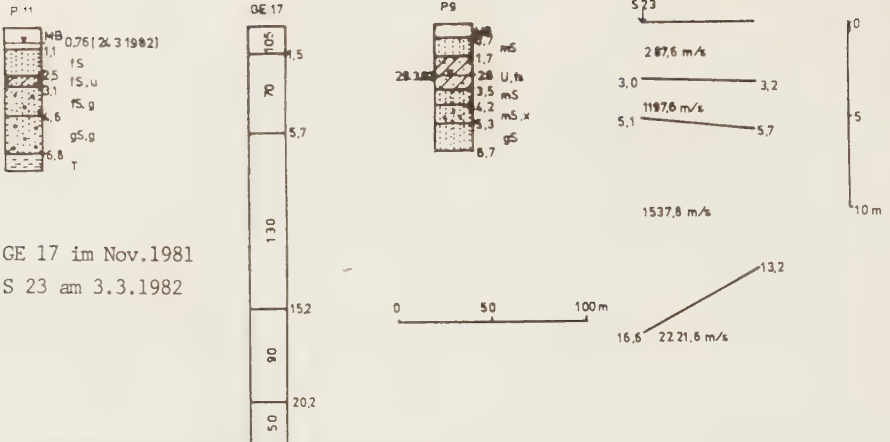
INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	344.83	333.33	0.0000	0.0000
2	907.07	961.54	.0138	.0130
3	1423.57	1492.54	.0170	.0166
4	2220.22	2083.33	.0296	.0252

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNESS A	THICKNESS B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	339.08	2.51	2.37		2.51	2.3
2	134.52	1.53	1.84	-62	4.03	4.2
3	1453.57	11.91	7.85	.51	16.00	12.0
4	2145.87			3.67		

Tab.4/22: Auswertung des Seismikprofils S 150; vgl. dazu Abb.4/48



GE 17 im Nov.1981

S 23 am 3.3.1982

Abb.4/50: Vergleich der geophysikalischen Messungen (GE 17 & S 23) mit dem geologischen Profil der Pegel 9 und 11

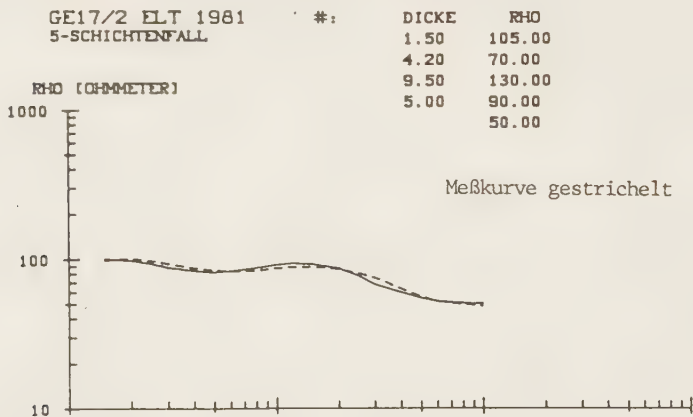


Abb.4/51 : Meß- und Modellkurven der GE 17; vgl. dazu Abb.4/50

S 23 ELT 3.3.1982 05.1			SPREAD LENGTH = 85.			
INPUT DATA						
LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, T	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B		
1	252.53	322.58	0.0000	0.0000		
2	1170.47	1219.51	.0200	.0218		
3	1538.46	1538.46	.0225	.0246		
4	2222.22	2222.22	.0342	.0328		
COMPUTED STRUCTURE						
LAYER	VELOCITY	THICKNESS A	THICKNESS T	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	252.53	2.90	3.23		2.96	3.23
2	1197.53	2.16	2.42	- .25	5.12	5.65
3	1537.83	11.44	7.59	1.41	16.56	13.24
4	2221.34			.79		

Tab.4/23 : Auswertung des Seismikprofils S 23; vgl. dazu Abb.4/50

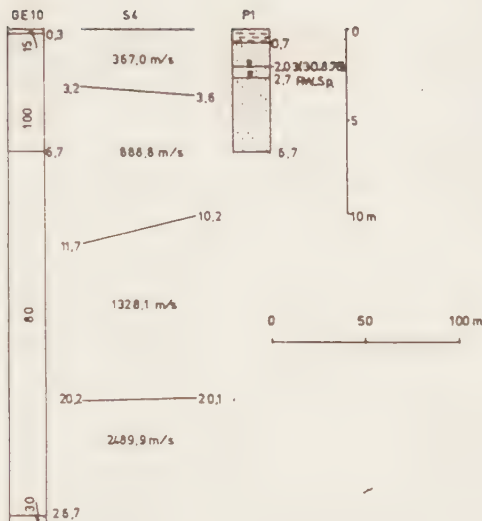


Abb.4/52 :Vergleich der geophysikalischen Messungen (GE 10 und S 4)
mit dem geologischen Profil des Pegels 1
"GW-Stand am P1 ist seit 1979 nicht meßbar."

1

S4 ELT 1981 DEM

SPREAD LENGTH = 85.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	370.37	363.64	0.0000	0.0000
2	869.56	909.09	.0160	.0180
3	1428.57	1250.00	.0310	.0300
4	2500.00	2500.00	.0460	.0460

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNES A	THICKNES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	367.01	3.22	3.63		3.22	3.63
2	888.84	8.47	6.60	-0.58	11.69	10.23
3	1328.06	8.43	9.87	4.67	20.14	20.10
4	2489.95			-1.55		

Tab.4/24 : Auswertung des Seismikprofils S 4;vgl.dazu Abb.4/52



Abb. 4-53: Vergleich der geophysikalischen Messungen

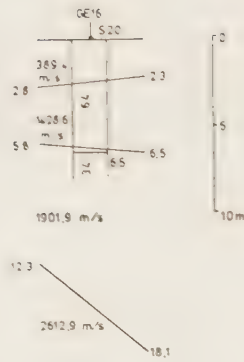


Abb. 4-54: Vergleich der geophysikalischen Messungen

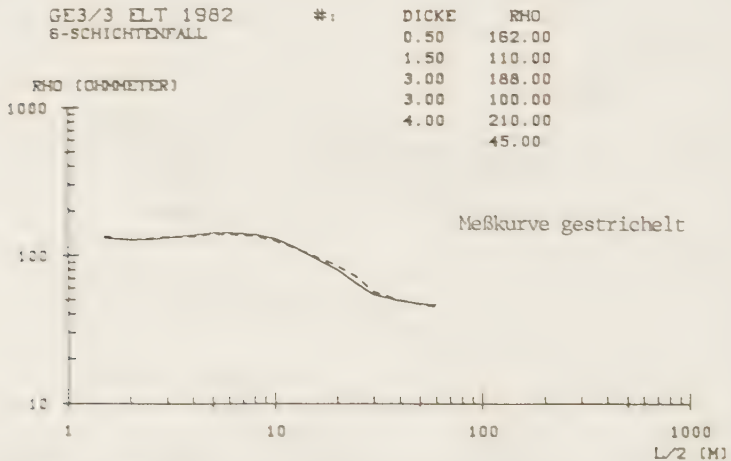


Abb.4/55:Meß-und Modellkurven der Sondierung GE 3;vgl.dazu Abb.4/53

37 ELT 1981 DEM			SPREAD LENGTH = 75.			
THICKT 011						
LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B		
1	352.10	232.56	0.0000	0.0000		
2	1250.00	1386.89	.0210	.0260		
3	2127.50	2222.22	.0308	.0340		
COMPUTED STRUCTURE						
LAYER	VELOCITY	THICKNESS A	THICKNESS B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	292.33	3.15	3.90		3.15	3.90
2	1315.20	7.83	6.27	-6.9	10.97	10.17
3	2171.20			2.22		

Tab.4/25:Auswertung des Seismikprofils S 2;vgl.dazu Abb.4/53

GE16/1 FRA.1982
2-SCHICHTENFALL

#: DICKE RHO
6.50 63.80
34.00

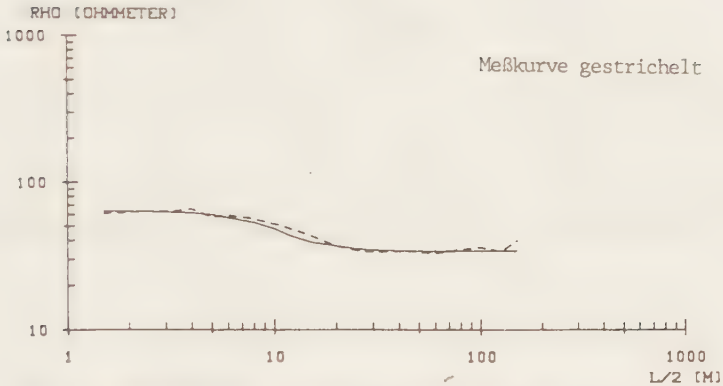


Abb.4/56:Meß-und Modellkurven der Sondierung GE 16;vgl.dazu Abb.4/54

1

S20 FLT 1982 DEM

SPREAD LENGTH = 75.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	400.00	378.79	0.0000	0.0000
2	1429.57	1428.57	+0140	+0115
3	2000.00	1818.18	+0170	+0155
4	2500.00	2777.78	+0230	+0250

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNES A	THICKNES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	389.40	2.83	2.33		2.83	2.33
2	1428.57	2.99	4.12	.00	5.82	6.45
3	1901.37	7.10	11.62	3.10	12.92	18.06
4	2612.77			-5.15		

Tab.4/26 :Auswertung des Seismikprofils S 20;vgl.dazu Abb.4/54

S14 FLT 1982 DEM

SPREAD LENGTH = 85.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	361.01	370.37	0.0000	0.0000
2	1423.57	1388.89	.0162	.0145
3	2127.70	2222.22	.0240	.0220

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNEES A	THICKNEES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	365.47	3.07	2.75		3.07	2.75
2	1408.46	6.91	6.66	.22	9.97	9.41
3	2172.49			-1.92		

Tab.4/27 :Auswertung des Seismikprofils S 14 (Lage des Profils siehe Anl.1)

S39 FLT 1952 DEM

SPREAD LENGTH = 80.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	327.88	322.58	0.0000	0.0000
2	2000.00	2222.22	.0618	.0598

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNEES A	THICKNEES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	325.23	10.17	9.84		10.17	9.84
2	2105.19			-4.47		

Tab.4/28 :Auswertung des Seismikprofils S 30 (Lage des Profils siehe Anl.1)

S48 FLT 1982 DEM

SPREAD LENGTH = 50.

INPUT DATA

LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B
1	454.54	400.00	0.0000	0.0000
2	1492.54	1250.00	.0200	.0130
3	2500.00	2000.00	.0270	.0210

COMPUTED STRUCTURE

LAYER	VELOCITY	THICKNEES A	THICKNEES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	427.27	4.50	2.93		4.50	2.93
2	1351.96	5.44	6.50	1.68	9.94	9.43
3	2220.79			-0.02		

Tab.4/29 :Auswertung des Seismikprofils S 88 (Lage des Profils siehe Anl.1)

S 81 ELT 1982 DEM			SPREAD LENGTH = 70.			
INPUT DATA						
LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B		
1	512.82	454.55	0.0000	0.0000		
2	1250.00	1428.57	.0115	.0162		
3	2000.00	2500.00	.0204	.0310		
COMPUTED STRUCTURE						
LAYER	VELOCITY	THICKNEES A	THICKNEES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	487.59	2.99	4.21		2.99	4.21
2	1332.38	6.96	11.69	-1.49	9.95	15.90
3	2221.52			-1.26		

Tab.4/30:Auswertung des Seismikprofils S 89 (Lage des Profils siehe Anl.1)

S151 ELT 1982 JEM			SPREAD LENGTH = 75.			
INPUT DATA						
LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B		
1	312.50	299.40	0.0000	0.0000		
2	1052.63	1111.11	.0165	.0198		
3	2000.00	2127.66	.0272	.0272		
COMPUTED STRUCTURE						
LAYER	VELOCITY	THICKNEES A	THICKNEES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	305.95	2.63	3.16		2.63	3.16
2	1081.05	6.47	4.31	-1.46	9.10	7.46
3	2061.05			.33		

Tab.4/31:Auswertung des Seismikprofils S 151 (Lage des Profils siehe Anl.1)

S160 FRAU. 1982 DEM OHNE G.SCHUSS			SPREAD LENGTH = 70.			
INPUT DATA						
LAYER	APPARENT VELOCITIES, A	APPARENT VELOCITIES, B	INTERCEPT TIMES, A	INTERCEPT TIMES, B		
1	333.33	333.33	0.0000	0.0000		
2	1250.00	1250.00	.0212	.0212		
3	2000.00	2000.00	.0312	.0312		
COMPUTED STRUCTURE						
LAYER	VELOCITY	THICKNEES A	THICKNEES B	DIP	DEPTH A	DEPTH B
1	333.33	3.67	3.67		3.67	3.67
2	1250.00	7.62	7.62	.00	11.28	11.28
3	2000.00			.00		

Tab.4/32:Auswertung des Seismikprofils S 160 (Lage des Profils siehe Anl.1)

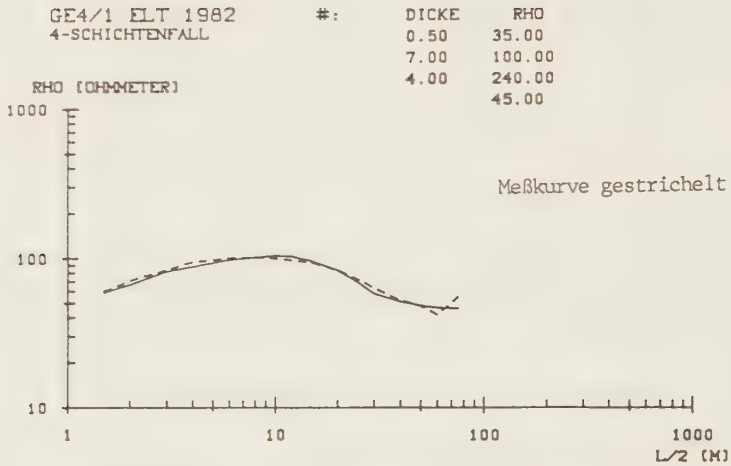


Abb. 4 57: Meß- und Modellkurven der Sondierung GE 4 (Lage der Sondierung siehe Anl.1)

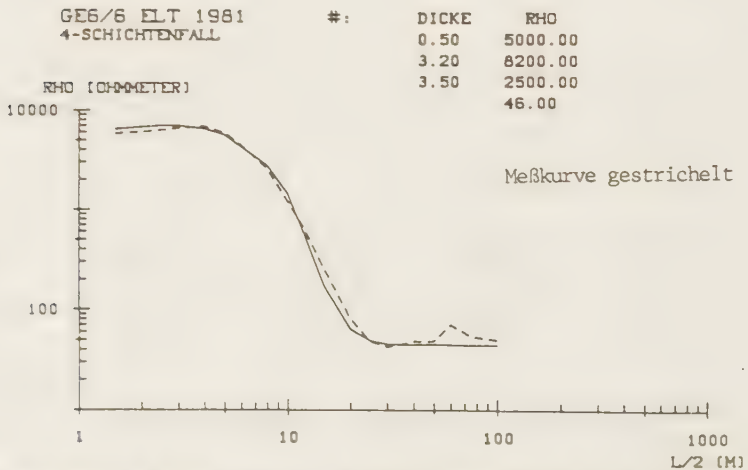


Abb. 4 58: Meß- und Modellkurven der Sondierung GE 6 (Lage der Sondierung siehe Anl.1)

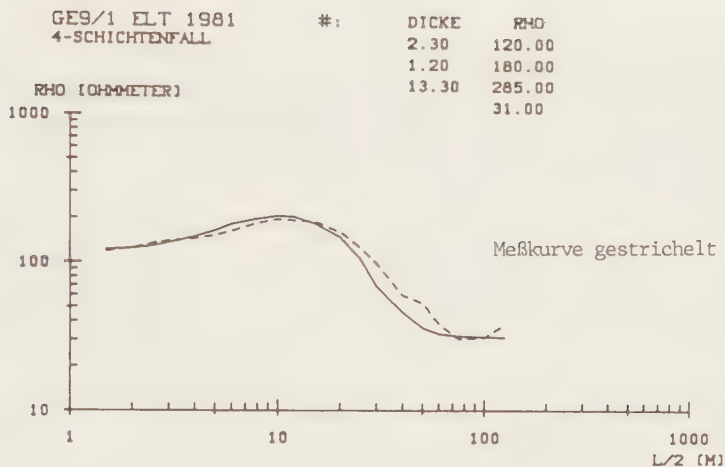


Abb.4/59:Meß-und Modellkurven der Sondierung GE 9 (Lage der Sondierung siehe Anl.1)

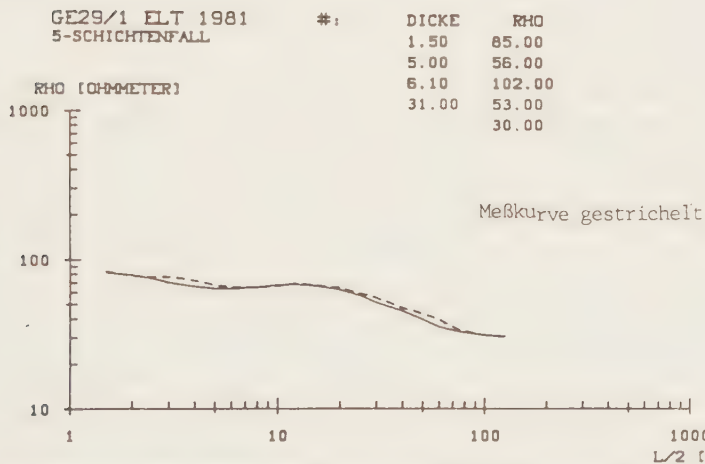


Abb.4/60:Meß und Modellkurven der Sondierung GE 29 (Lage der Sondierung siehe Anl.1)

5. HYDROGEOLOGIE

Zahlreiche GW-Beobachtungsrohre und Aufschlußbohrungen in der Umgebung von Eltersdorf (Gruppenwasserversorgung Eltersdorf) liefern ein detailliertes hydrogeologisches Bild dieses Teilgebietes. Einige GW-Beobachtungsrohre und Aufschlußbohrungen im nördlichen Teil des Arbeitsgebietes ermöglichen auch eine hydrogeologische Betrachtung des nördlichen Teils dieses Gebietes. Zwischen diesen beiden Teilgebieten fehlen sowohl Aufschlußbohrungen als auch GW-Beobachtungsrohre; daher wurde in diesem Teil des Gebietes versucht, die hydrogeologischen Betrachtungen mit Hilfe von geophysikalischen Verfahren zu ermitteln. Es war geplant,

- die Mächtigkeit der Quartärsande zu bestimmen, die für die Gruppenwasserversorgung von Bedeutung ist.

- die GW-führenden Ablagerungen mit Hilfe der Geoelektrik- und den GW-Spiegelstand in unbekannten Teilen des Gebietes zu bestimmen.

- mit der von FRITSCH angegebenen Gleichung, die den k_f -Wert mit Hilfe der spez. Widerstände der Gesteine zu berechnen erlauben soll eine Reihe von ungefähren Durchlässigkeitsbeiwerten zu berechnen.

5.1. Überblick über das Kartenwerk:

Das Arbeitsthema erforderte eine gründliche Bestandsaufnahme. Dazu wurde ein Kartenwerk erstellt.

Da die quartären Ablagerungen für die GW-Versorgung von Bedeutung sind, sollten zuerst die Mächtigkeiten dieser Ablagerungen und ihre räumliche Verbreitung bestimmt werden. Dazu wurden die zur Verfügung stehenden Daten durch geophysikalische Verfahren (siehe Kap. 4) erweitert und es wurde eine Mächtigkeitskarte für das Quartär dargestellt (siehe Anl. 2).

Die mächtigsten Quartärablagerungen befinden sich im Bereich der Gruppenwasserversorgung Eltersdorf (südlich von Königsmühle/Eltersdorf mit einer max. Mächtigkeit von 22.70 m), wo sich auch die Brunnen des oben genannten Wasserwerkes befinden. Die mächtigsten Ablagerungen verlaufen entsprechend zur Richtung des heute begrabenen Talstückes der alten Regnitz von Süden nach Nordwesten hin bis zur heutigen Regnitz, südwest-

lich von Eltersdorf, wo die Gründlach zur Regnitz einmündet.

Eine andere mächtige Ablagerung des Quartärs befindet sich westlich des Kraftwerks Franken II mit einer max. Mächtigkeit von 25.0 m. Sie hängt mit der Ur-Aurach-Rinne zusammen.

Im nördlichen Teil des Gebietes verläuft eine weitere mächtige Ablagerung parallel zur Regnitz, zwar am westlichen Ufer, wohingegen sie im Süden sich am östlichen Ufer befand. In diesen nördlichen Bereichen des Gebietes betragen die Mächtigkeiten der Quartärablagerungen bis zu 20.0 m.

Um den Überblick über die Quartärablagerungen zu erweitern, wurde die Quartärbasiskarte wieder mit Hilfe der geophysikalischen Verfahren dargestellt (siehe Anlage 3). Die Isolinien der Oberfläche des Keupers verlaufen etwa parallel zu den Isopachenlinien der Quartär-Mächtigkeitskarte (siehe dazu Anlage 2).

Der Verlauf des heute begrabenen Talstückes der Regnitz geht vom im Süden des Arbeitsgebietes am Ostrand des Ortes Mannhof nach Nordosten. Eine weitere begrabene Rinne macht sich zwischen Vach und Mannhof bemerkbar. Die beiden Rinnen verlaufen zusammen nach Norden bis zum Kraftwerk Franken II.

Westlich von Eltersdorf ist die Mächtigkeit der Quartärablagerungen geringer im Vergleich zu der ^{im} Süden. Nördlich des Kraftwerks Franken II verläuft die Rinne westlich der Regnitz und setzt sich nach Norden fort.

Die Querprofile zur Regnitz, die mehr mit Hilfe der Seismi dargestellt sind, geben ebenfalls Auskunft über den Verlauf der Rinne (siehe Anlagen 6-7-9-10-11 und 12).

HOCHWASSERKARTE: Bei bestimmten winterlichen Wetterlagen, wie z.B. im Jahre 1971 (siehe Anlage 4, dargestellt von Prof. Dr. K. POLL) entstanden große Hochwässer im Gelände. Auch kann ein im Sommer-Zeiten kurzdauernder, aber ergiebiger Regen zu lokalen Hochwässern führen. Die Ursachen für solche lokalen Hochwässer liegen in den hochliegenden, stauenden, tonigen, schluffigen Sand- und Lehmschichten und den Lettenlagen der Keuperschichten, in denen die Niederschläge nicht versickern können. Da die entstandenen Hochwässer nur bis zu den Terrassenrändern reichten, blieben die Wasserversorgungsbrunnen der Elters-

dorfer-Gruppe wegen ihrer Lage auf den Terrassen außerhalb dieses Überschwemmungsgebietes.

5.2.GRUNDWASSERFÜHRUNG DER GESTEINSFOLGE

5.2.1.Quartäre Ablagerungen :

Bei den quartären Talfüllungen handelt es sich um Porengrundwasserleiter (ANDRES in BERGER 1967; FÖLL 1978). Die Talfüllungen sind im untersuchten Raum sehr inhomogen geschichtet (siehe dazu Kap.3 und 4). Der häufige Materialwechsel in der vertikal und horizontal entstehenden Anisotropie verursacht die unterschiedliche Wasserwegsamkeit in den Lockergesteinen.

Im allgemeinen bieten die Sande und Kiese des Quartärs reiche und nutzbare Speicher für die Wasserversorgung. Die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte entsprechen denen von guten GW-Leitern.

Die Lehrbergsschichten liegen im größten Teil des Gebietes als GW-Sohle unter dem Quartär. Die Lettenlagen, z.B. die Dachletten, des Sandsteinkeupers sind stellenweise ebenfalls als GW-Sohle von Bedeutung. Bei den quartären Sanden handelt es sich überwiegend um gleichförmige grob- bis mittelkörnige Sande mit mehr oder weniger Schluffbeimengungen. Der Kiesanteil ist wechselnd.

Für die Wasserführung besonders günstige hydrogeologische Verhältnisse herrschen in dem begrabenen Talstück der Regnitz. In diesen Bereichen des Quartärs haben die Sand-Kies-Ablagerungen eine Mächtigkeit bis zu 22.7 m (siehe Anlagen 2-3-6-7 und 9-12). Auf diesem früheren Regnitzlauf befinden sich zwei Wasserversorgungseinrichtungen. An der Stelle, an der sich die Brunnen des Wasserwerkes Stadeln befinden, sind die Sand-Kies-Ablagerungen als guter GW-Leiter anzusehen; ihre Mächtigkeit erreicht bis zu 20.0 m. Die dort angelegten 7 Brunnen haben eine Ergiebigkeit von 40.1 l/s.

Die Gruppenwasserversorgung Eltersdorf versorgt mehrere Ortschaften mit Wasser. Die Westfassung der Gruppenwasserversorgung umfaßt vier Brunnen. An dieser Stelle besteht der Aquifer aus Mittel- und Grobsanden mit Kies- und Geröll-Schichten; er hat über 11.0 m Mächtigkeit. Als GW-Sohle befinden sich in diesem Bereich die tonführenden Lehrbergsschichten. Da die Ober-

fläche der Lehrbergsschichten nicht eben, sondern wellig ist, schwankt die Aquifermächtigkeit stark (siehe Anlagen 2-3 und 10-12).

Die Quartärsande sind im Gebiet der Ostfassung der Gruppenwasserversorgung Eltersdorf im Vergleich zur Westfassung unigeform geschichtet. Dort besteht der Aquifer überwiegend aus Mittel- und Grob-Sanden.

Die Ergiebigkeiten dieser Brunnen (Westfassung vgl. W. HAARLÄNDER, "Erläuterung zur Geol. Karte von Bayern, Nr. 6431; S. 6) betragen :

Br.1	35.3 l/s	; Absenkung	5.12 m	ab Ruhewasserspiegel
Br.2	48.5 l/s	; "	6.40 m	" "
Br.3	45.8 l/s	; "	4.93 m	" "
Br.4	52.2 l/s	; "	4.93 m	" "

Im Juni 1965 wurde im Bereich des Kraftwerkes Franken II durch die LGA/Nürnberg (Bayerische Landesgewerbeanstalt) ein Pumpversuch durchgeführt und ein k -Wert (nach DUPUIT-THIEM) mit einem Mittelwert von $0.97 \cdot 10^{-3}$ m/s berechnet. Im gleichen Bereich wurde außerdem im Jahre 1980/81 für das Bauvorhaben Block 3 des Kraftwerkes ein Baugrund- und Gründungsgutachten (unveröffentlichtes Gutachten der LGA) durchgeführt. Bei den für das Gutachten zur Verfügung stehenden Körnungslinien wurde nach verschiedenen Autoren eine Reihe von k_f -Werten berechnet (siehe dazu Kap. 5/4). Da die Ablagerungen des Quartärs aus unterschiedlichen Materialien bestehen und aus unterschiedlichen Tiefen entnommen sind, sind die k_f -Werte auch unterschiedlich. Auf diese Weise ergibt sich ein k -Wert (Mittelwert) von $k_f = 1.83 \cdot 10^{-3}$ m/s (nach HAZEN).

1983 hat G. DAFNER (frdl. mündl. Mitteilung) bei einem Pumpversuch für die Gruppenwasserversorgung Eltersdorf einen k_f -Wert nach THEIS von

$$k_f = 1.13 \cdot 10^{-3} \text{ m/s angegeben.}$$

POLL (1978) hat die k_f -Werte im Quartär für den Raum des Regnitztalzuges in der unten angegebenen Tabelle aufgeführt.

Stratigr. Horizont	U (d_{60}/d_{10})	k_f (m/s)
Flugsand	2,84	$1,11 \cdot 10^{-4}$
Flugsand	2,29	$1,76 \cdot 10^{-4}$
Flugsand	2,81	$1,25 \cdot 10^{-4}$
Oberterrasse, Rinnensand	2,64	$3,42 \cdot 10^{-4}$
Oberterrasse, Eiskeil	2,99	$1,87 \cdot 10^{-4}$
Oberterrasse, Eiskeil	2,57	$2,99 \cdot 10^{-4}$
Kryoturbation, toniger Sand	1,62	$1,36 \cdot 10^{-5}$
Kryoturbation, toniger Sand	1,55	$1,11 \cdot 10^{-5}$
Oberterrasse, obere Sande	3,70	$1,82 \cdot 10^{-4}$
Oberterrasse, obere Sande	3,35	$2,40 \cdot 10^{-4}$
Oberterrasse, obere Sande	2,74	$1,30 \cdot 10^{-4}$
Oberterrasse, untere Sande	3,66	$2,02 \cdot 10^{-3}$
Oberterrasse, untere Sande	3,73	$1,40 \cdot 10^{-3}$
Oberterrasse, untere Sande	2,28	$1,02 \cdot 10^{-3}$

U = Ungleichförmigkeitsgrad
 k_f = Durchlässigkeitsbewert

Tab.5/1 : Durchlässigkeitsbeiwerte im Quartär (POLL, 1978)

Am zuverlässigsten scheinen die k_f -Werte zu sein, die aus den Pumpversuchen ermittelt wurden, da sie Aussagen über den gesamten Aquifer zulassen.

Um die hydrogeologischen Verhältnisse exakter zu erläutern, wurden geoelektrische Verfahren angewandt. Die Anwendbarkeit der Verfahren beruht auf der Erscheinung, daß die Wasservorkommen im Untergrund im allgemeinen mit einer Erhöhung des elektrischen Leitvermögens der wasserführenden Schichten erkennbar werden. Unterschiedlicher Tongehalt der einzelnen Schichten erschwert die Interpretation der Ergebnisse wegen der ähnlichen elektrischen Widerstände von GW und von Ton an einigen Stellen. Weil die GW-Leiter mit freier GW-Oberfläche von Sickerwässern genährt werden und im Kapillarsaum von feuchten Schichten überdeckt sind, ist es nicht immer leicht, eine Grenze zwischen Bergfeuchtigkeit und geschlossener Wasserführung als GW-Spiegel zu bezeichnen, wie es andererseits durch die Beobachtungen an Pegeln sehr leicht geschieht. Trotz dieser Erschwernisse konnten an einigen Messungen, die gemacht wurden, Werte für den GW-Flurabstand berechnet werden, die von den durch die Pegel bekannten Werten wenig abweichen (siehe dazu Kap. 4).

Mit begleitender Unterstützung durch das Seismikverfahren ist das Geoelektrikverfahren sehr hilfreich, die Aquifermächtigkeiten zu bestimmen.

Tabelle Absenkungen (s bzw. $s_{\max}$), Reichweiten (R) und Entnahmemengen (Q), Eltersdorfer Gruppe

Brunnen- nr.	Betriebs- wasserpie- gel(m) H	Ruhe- wasserpie- gel(m) H	$H^0 - h^2$	Absenkung (m) aus Pumpvers. bei Leistung (l/s) 6a	Höchstzuläss. Absenkung (m) $s_{\max}$ nach HAZEN Pumpv. 6b/1 6b/2	Reichweite(m) nach HAZEN Pumpv. R_H R_s	Reichweite R nach $s_{\max}$ $R_{s_{\max}}$
1	11,2	11,75	0,55	1,47 (10,6)	1,20 1,45	145 145	125,5
2	11,2	11,55	0,35	1,43 (10,6)	1,75 2,00	67 320	160,5
3	11,2	11,2	0,0	1,44 (10,6)	1,05 1,40	527 235	140,5
4	11,2	11,2	0,0	1,40 (10,0)	1,60 2,20	610 204	140,5
5	11,2	11,2	0,0	1,44 (10,6)	1,40 1,60	620 4	140,5
6	11,2	11,2	0,0	1,44 (10,6)	1,40 1,60	370 175	140,5
7	11,2	11,2	0,0	1,44 (10,6)	1,40 2,05	145 60	140,5

da bei allen Brunnen gleiche Rohrweite (1200 mm, $r_a=600$) und gleiches Filterrohr (400 mm, r_f) wird in alle z.B. ein μ für der Wert 0,4 m eingesetzt.
 Durchlässigkeitsbeiwert; dieser Wert konnte wegen fehlender Regelbeobachtungen nicht nur dem Grund-
 wasser entnommen werden. - zur Berechnung benutzte k_f -Wert wurde daher 1) nach der "HZZ"-
 Grundwasserleiters berechnet - da hierfür aber lediglich immer nur eine kleine Probe aus der gesamten
 Grundwasserleiter zur Verfügung stand, sind die zugehörigen Werte mit dem Index H nicht voll represen-
 tativ - oder nach Ergebnissen aus einem hydrologisch auswertbaren Pumpversuch 2) beim Grundwasser-
 leiter. Diese Werte sind mit dem Index, markiert: $k_f(\text{HZZ}) = 4,3 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$; $k_f(\text{Pumpvers.}) = 0,27 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$
 Rechnung: $s = \frac{Q}{4 \pi H k_f} \sqrt{\frac{r_a}{r_f}}$

Brunnen- nr.	Br. Nr.	Br. Nr.	Br. Nr.	Br. Nr.	Br. Nr.	Br. Nr.	Br. Nr.
1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7

Vollkommene Brunnen: $s = \frac{Q}{4 \pi H k_f} \sqrt{\frac{r_a}{r_f}}$
 Unvollkommene Brunnen: $s = \frac{Q}{4 \pi H k_f} \sqrt{\frac{r_a}{r_f}}$

Tab.5/2 : Fassungsvermögen und höchstzulässige Fördermengen aus Brunnen 1-7 (Eltersdorfer Gruppe)

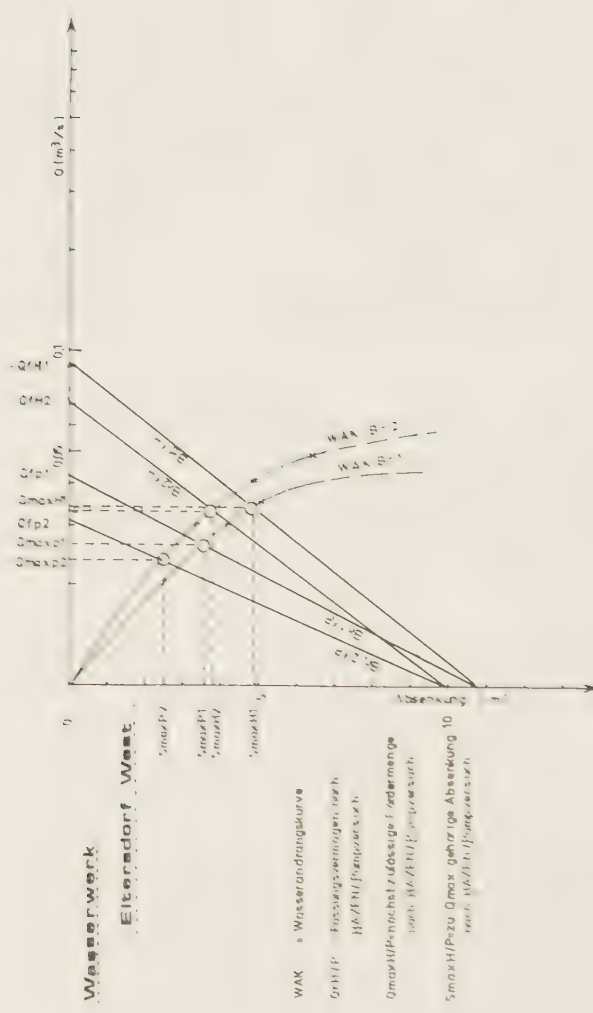
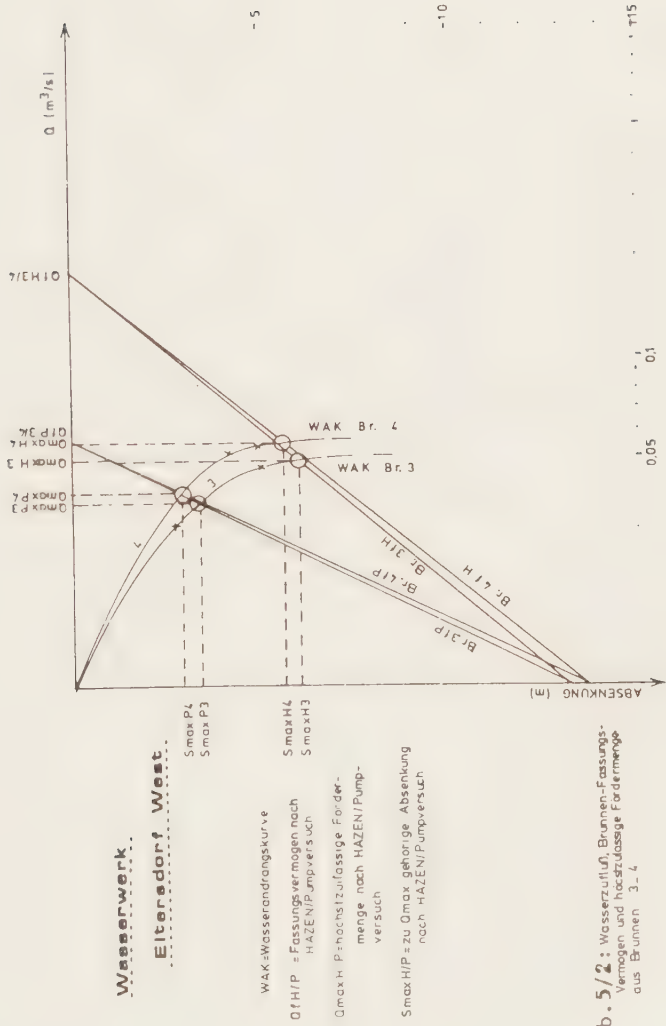
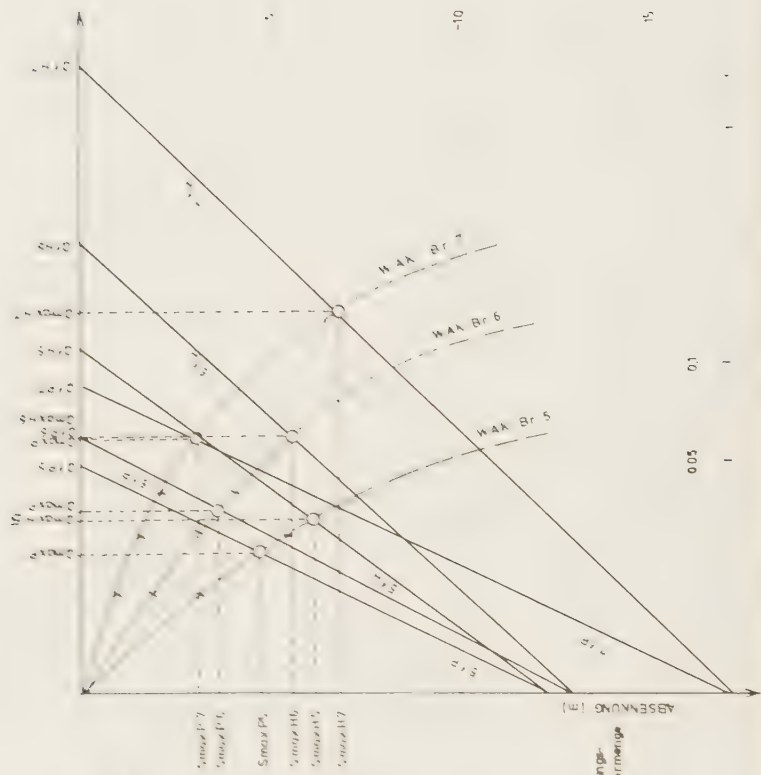


Abb. 1. 5. 1. : Wasserabflusskurve nach hydrologischen Berechnungen nach Dürren, 1. 2.



Wasserwerk Elteredorf Ost



WAK - Wasserandrangskurve
 max HP - zu max gehörende Abflüsse
 min HP - zu min gehörende Abflüsse
 WAK/Pumpversuch
 max HP/Pumpversuch
 min HP/Pumpversuch
 WAK/Pumpversuch
 max HP/Pumpversuch
 min HP/Pumpversuch

Abb. 5/3 Wasserzucht, Brunnen-Fassung
 Zerstören und höchstzulässige Fördermenge
 aus Brunnen-5-6-7

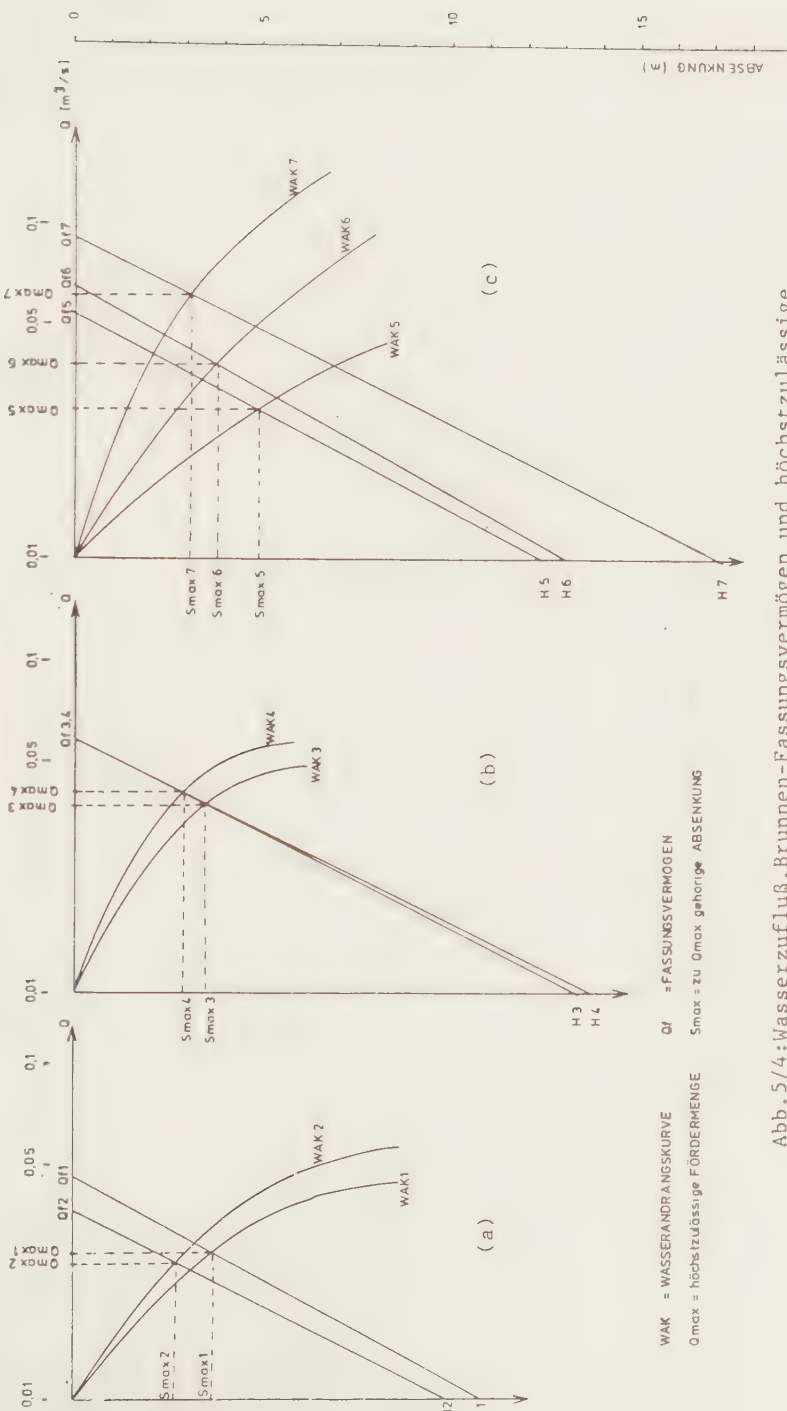


Abb. 5/4: Wasserzufluß, Brunnen-Fassungsvermögen und höchstzulässige Fördermenge aus Brunnen 1-7

Tab. 5/3 : Fassungsvermögen und höchstzulässige Fördermengen aus Brunnen 1-7

Brunnen Nr. - neu-	Betriebs- wasserpie- gel (m) h	Ruhewas- serpiegel (m) H	$H^2 - h^2$	Absenkung(m) aus Pumpvers. bei Leistung (l/s)	Höchstzuläss. Absenkung(m) s_{max}	Reichweite(m) $R=3000 \cdot s \sqrt{h}$	R/r	ln R/r	Wkt bei Leistung	Ergiebig- keit Q (l/s)	Fassungs- vermögen Qf(l/s)	Max. zuläss. Fördermenge Qmax (l/s)	Bewilligte Fördermenge Q (l/s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	8,20	10,77	48,75	2,57	20,8	372	647,5	6,47	0,0035	26,75	463,8	27,2	10
2	6,42	9,85	55,80	3,43	30,4	345	884,7	6,76	"	29,30	36,16	25,5	10
3	10,51	13,19	63,52	2,68	30,4	278	675,7	6,51	"	34,64	59,19	36,0	20
4	10,50	13,80	74,71	3,10	40,0	313	781,8	6,68	"	39,82	59,13	40,5	20
5	9,25	12,40	68,20	3,15	20,2	318	794,2	6,87	"	36,29	52,07	27,8	20
6	11,12	13,00	45,35	1,88	20,2	190	473,8	6,16	"	26,14	62,60	37,5	20
7	16,26	17,20	31,45	0,94	20,0	95	238,9	5,47	"	20,41	91,53	62,0	20

POLL hat im Jahre 1982 für die Eltersdorfer-Gruppe bei den Brunnen (1 bis 7) die Ergiebigkeiten, Fassungsvermögen, max. zulässigen Fördermengen und höchstzulässigen Absenkungen berechnet (siehe Tab. 5/2 und Abb. 5/1-5/2 und 5/3).

In diesem Bereich des Quartärs war der k_f -Wert zu dieser Zeit unbekannt, deswegen hat POLL die k_f -Werte, die durch einen Pumpversuch beim Kraftwerk Franken II und nach HAZEN berechnet wurden, benutzt.

Nachdem DAFNER 1983 den k -Wert in diesem Bereich (Eltersdorfer Gruppe) mit einem Wert von $1.13 \cdot 10^{-3}$ m/s berechnet hat, wurden die Ergiebigkeiten und Fassungsvermögen nochmals vom Verfasser berechnet und in der Tab. 5/3 und in der Abb. 5/4 dargestellt.

Der Vergleich der Werte, die von POLL errechnet wurden, mit denjenigen, die vom Verfasser zusammengestellt wurden, zeigt, daß die Ansätze für die Berechnungen bei beiden Bearbeitern richtig sind

5.2.2. Sandsteinkeuper :

Der Sandsteinkeuper ist trotz seiner Einschaltungen von Lettenlagen als einheitlicher Aquifer anzusehen. Außerhalb des Arbeitsgebietes beziehen daraus mehrere Gemeinden ihr Nutzwasser.

Nach BIRZER (1974; in POLL 1978) versickern die Niederschlagswässer rasch auf den Terrassensanden und reichern über die bestehenden hydraulischen Kontakte den GW-Körper des Sandsteinkeupers stark an. Nach BIRZER (a.a.O.) weist der feinkörnige Sandstein einen Sandanteil von 60-80% auf, der mehr im Feinsandbereich liegt. Die bindigen Bestandteile sind als Tonfraktion mit ca. 10% und als Schluff mit ca. 10-30% vertreten.

POLL (a.a.O.) bezeichnete den Blasensandstein und den Coburger Sandstein von ihrer petrographischen Ausbildung her als gute Aquifere. Die Messungen der Durchlässigkeitsbeiwerte ergeben aber geringere Werte. Bei ANDRES (in: BERGER, 1967; nach POLL 1978) sind die k_f -Werte senkrecht zur Schichtung $2.7 \cdot 10^{-8}$ m/s und parallel zur Schichtung $1.5 \cdot 10^{-6}$ m/s.

POLL (a.a.O.) hat nach HAZEN die k_f -Werte im Sandsteinkeuper berechnet; er wies aber darauf hin, daß die Proben den Oberflächenaufschlüssen entstammen und dadurch etwas verfälscht sein könnten (siehe Tab. 5/4).

STRATIGRAPHISCHER HORIZONT	$U(d_{60}/d_{10})$	$k_f(m/s)$ nach HAZEN
Coburger Sandstein	4.49	$6.24 \cdot 10^{-5}$
Coburger Sandstein	2.51	$3.57 \cdot 10^{-4}$
Coburger Sandstein	1.77	$9.30 \cdot 10^{-4}$
Coburger Sandstein	2.38	$4.84 \cdot 10^{-4}$
Coburger Sandstein	1.96	$6.25 \cdot 10^{-4}$
Coburger Sandstein, Sandlage	3.40	$1.14 \cdot 10^{-4}$
Coburger Sandstein, Sandlage	3.56	$1.49 \cdot 10^{-4}$
Burgsandstein, tonig	5.05	$9.00 \cdot 10^{-5}$
Burgsandstein, Lettenschicht	25.88	$8.10 \cdot 10^{-7}$

Tab.5/4: k_f -Werte im Sandsteinkeuper (POLL 1978)

Im Rahmen eines unveröffentlichten Gutachtens der LGA/Nürnberg standen bodenmechanische Laborergebnisse zur Verfügung, für die Proben aus dem Blasensandstein in der Umgebung des Kraftwerks Franken II entnommen worden sind. Die Mittelwerte dieser Ergebnisse sind in Tab.5/5 angegeben.

	bis 5,0 m	5,0-10,0 m	10,0-15,0 m	tiefer als 15,0 m	Mittelwert
Korndichte (t/m^3)	2,71	2,69	2,71	2,72	2,71
Dichte des feuchten Bodens (t/m^3)	2,17	2,23	2,24	2,38	2,26
Trockendichte (t/m^3)	1,92	2,00	2,06	2,27	2,06
Wassergehalt (%)	12,66	11,60	11,80	4,60	10,17
Porenanteil (1)	0,29	0,26	0,24	0,16	0,24
Porenzahl (1)	0,41	0,36	0,32	0,19	0,32
Tongehalt (%)	25,4	32,0	22,0		26,7

Tab.5/5: Die Laborergebnisse für den Blasensandstein

5.2.3. Lehrbergsschichten :

Im gesamten Untersuchungsraum sind die Lehrbergsschichten mit ihrer tonigen Ausbildung als GW-Stauer von Bedeutung. Die Grenze zwischen den Lehrbergsschichten und dem Quartär ist die für den größten Teil des Untersuchungsraum wirksame GW-Sohle. Die Lehrbergsschichten bestehen aus roten, feinsandigen Schiefertönen (BIRZER 1964), in die Sand-

steine eingelagert sind. Im Erlanger Gebiet beträgt die Mächtigkeit der Lehrbergsschichten um 35.0 m.

Mit ihrer tonigen Ausbildung machen sie sich bei den Sondierungskurven mit höherer elektrischer Leitfähigkeit und bei den Seismik-Messungen mit höheren Geschwindigkeiten leicht bemerkbar (siehe dazu Kap.4).

5.3. Grundwasser-Morphologie :

Im untersuchten Raum sind die natürlichen GW-Spiegel durch die Brunnenfassungen gestört. Aus diesem Grund war es sehr schwer, die natürliche Gestalt des GW-Spiegels darzustellen. Für den Norden des Gebietes standen die Daten der Ruhewasserstände zur Verfügung. Am östlichen Ufer der Regnitz liegen in diesem Bereich keine GW-Beobachtungsrohre vor und es fehlen die Bohrungen, die die Ruhewasserhöhe angeben könnten. Eine Anfertigung einer GW-Spiegelkarte, die die GW-Fließrichtung und die Gestalt des GW-Spiegels exakt darstellen sollte, war daher unmöglich.

Es war lediglich bekannt, daß die GW-Fließrichtung von beiden Seiten her auf die Regnitz zu gerichtet ist. In dem Gebiet, das nördlich an mein Arbeitsgebiet anschliesst, hat B. REICHEL (1982) die Fließrichtung des Grundwassers zur Regnitz hin exakt nachgewiesen. Von diesen Voraussetzungen konnte bei den eigenen Arbeiten ausgegangen werden. Mit den vorhandenen Daten wurde ein GW-Spiegelplan im Bereich des Kraftwerks Franken II aus den Ruhewasserspiegeln angefertigt (siehe Abb. 5/5).

Im Süden des Gebietes wurden die GW-Verhältnisse durch die Brunnengalerie des Wasserwerks Eltersdorfer Gruppe erfaßt. In diesem Bereich wurden die GW-Höhen durch monatliche Messungen beobachtet. Durch die zur Verfügung stehenden Daten wurden die Betriebswasserspiegelpläne konstruiert, die einen Blick auf den Entnahmebereich der Brunnenfassungen gewähren. Außerdem wurden Karten der Flurabstandsgleichen dargestellt.

Für einige Zeiträume wurde mit dem Programmsystem TASH (Topographisches Aufnahmesystem der Universität Hannover, I. Kruse, TU HANNOVER und installiert von CRAMER, RRZE) GW-Spiegelpläne errechnet und mit einer automatischen Zeichenanlage gezeichnet; die Grundlagen dafür hatte B. REICHEL (1982) bei seiner Dissertation erarbeitet.

Konstruiert aus Ruhe-
wasserspiegeln.

- GW-Spiegel gemessen
- - - GW-Spiegel konstruiert



Abb.5/5 :GW-Höhengleichen im Bereich des Kraftwerks Franken II



ELTERSDF. GW-STPNC 18.04.79

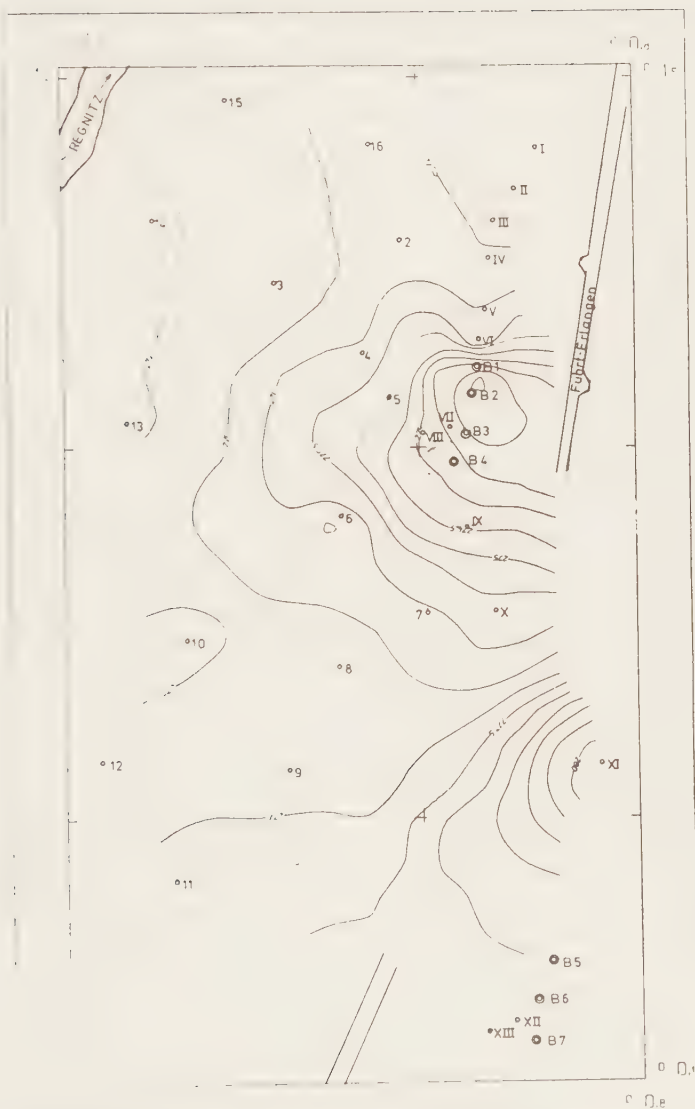
15500

Abb.5/6:Betriebswasserspiegel des Wasserwerks Eltersdorf



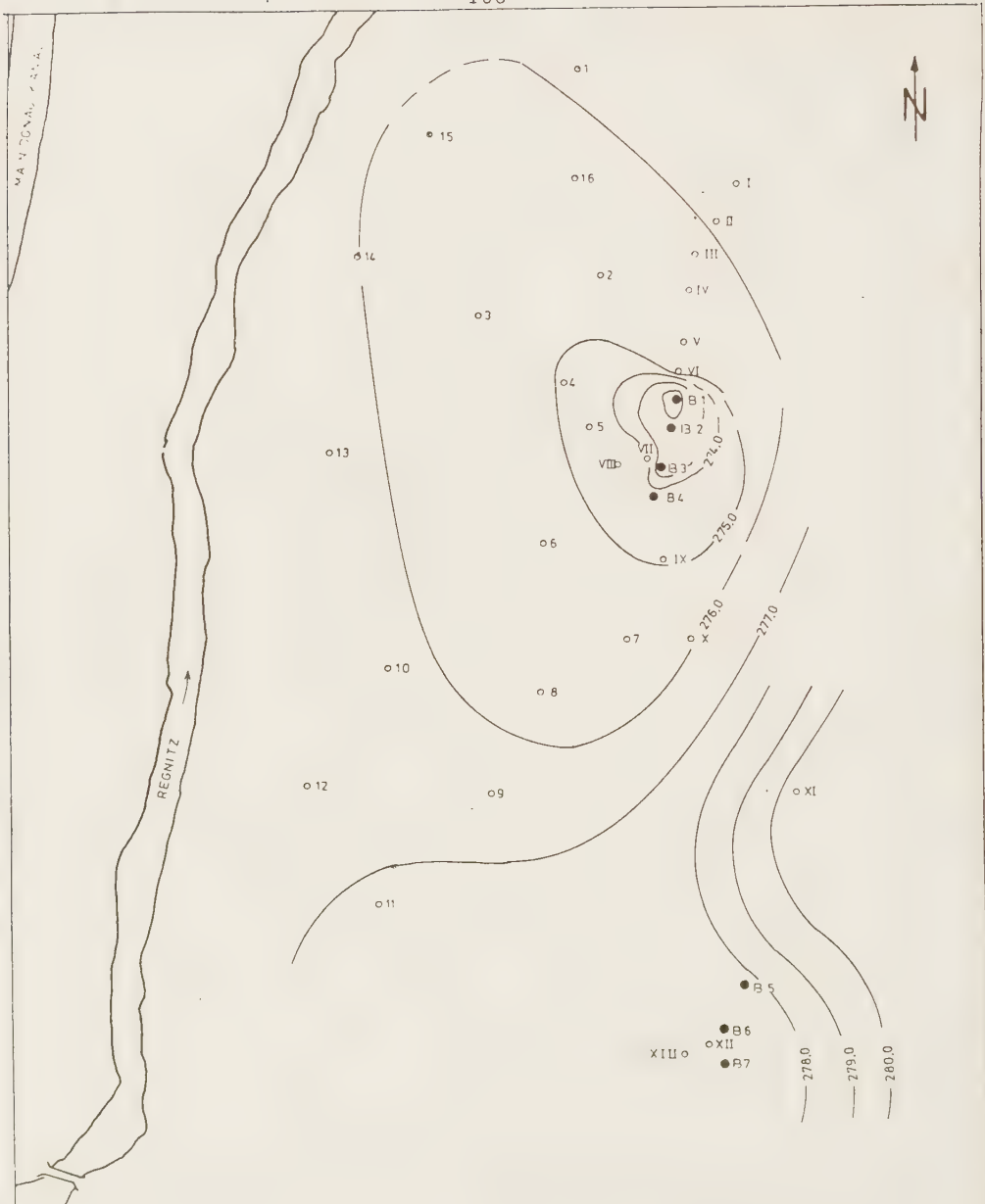
● B1 Brunnen 1_7
○ 1.I Pegel 1_16 und I_XIII

1: 5 000



ELTERSEIFLUG- STAND 24.10.79

Abb.5/8:Betriebswasserspiegel



ELTERS DORF

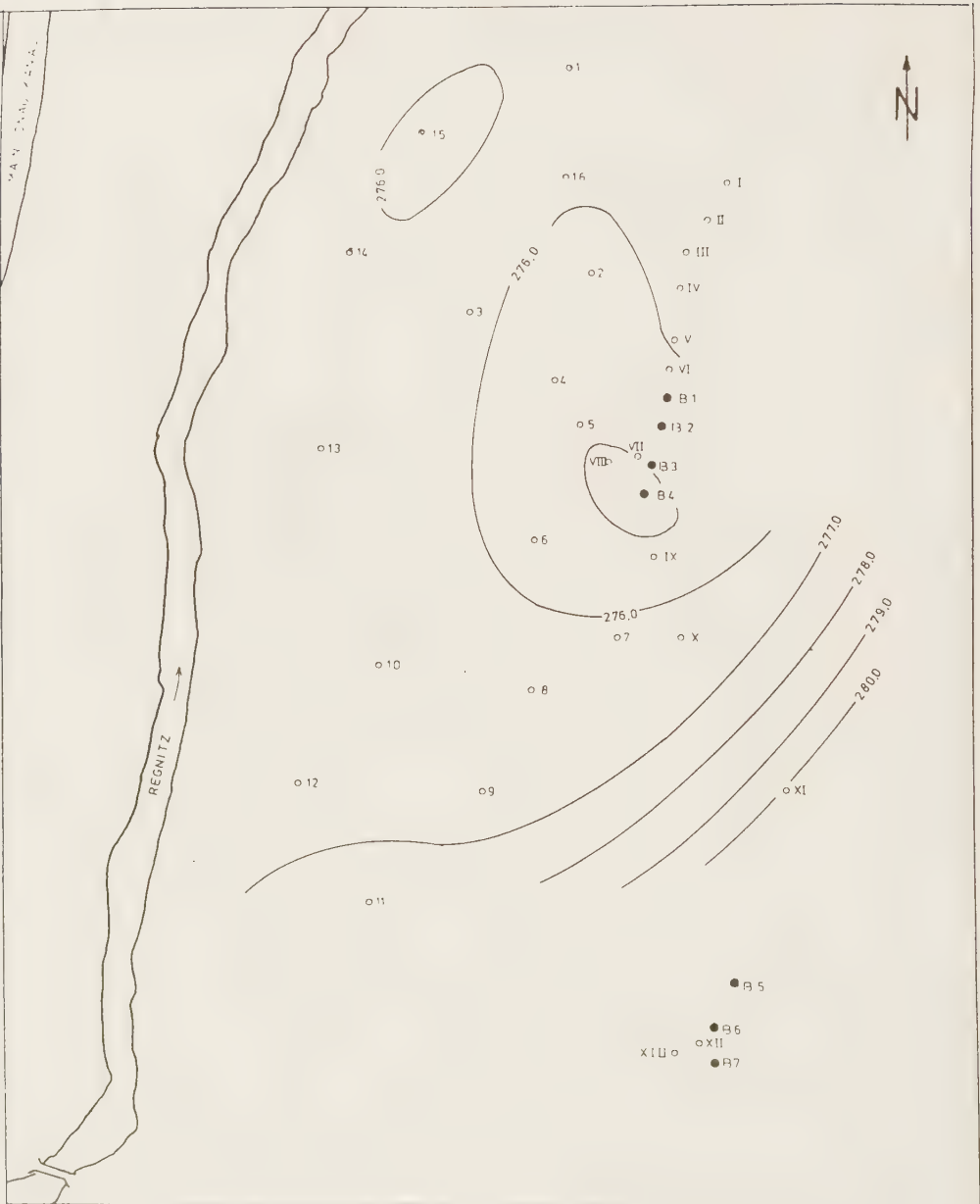
Abb.5/9:Betriebswasserspiegel des
Wasserwerks vom 07.11.79

● B1 Brunnen 1..7
○ I I Pegel 1..16 und I..XIII

1:5000



Abb.5/10: Betriebswasserspiegel



ELTERSDORF

Abb.5/11:Betriebswasserspiegel des
Wasserwerks vom 16.04.80

● B1 Brunnen 1_7
○ 1_1 Pegel 1_16 und 1_XIII

1:5000

Das Programm Tash verarbeitet die unregelmäßig verteilten, dreidimensionalen Daten zu einem digitalen Flächenmodell.

Die mit dem Programm TASH berechneten GW-Spiegelpläne weichen von jenen Karten etwas ab, die von Hand angefertigt sind. Die Ursachen könnten darin liegen, daß

- die von TASH benötigten Daten unzureichend waren,
- die durch TASH aufgezeichneten Pläne rein mathematisch sind, d.h. ohne Berücksichtigung der hydrogeologischen Verhältnisse.

Zum Vergleich beider Darstellungsarten wurden z.T. für die gleichen Zeiträume mit beiden Methoden Karten angefertigt (vgl. Abb. 5/6 und 5/7, siehe weiter dazu Abb. 5/8 bis 5/11).

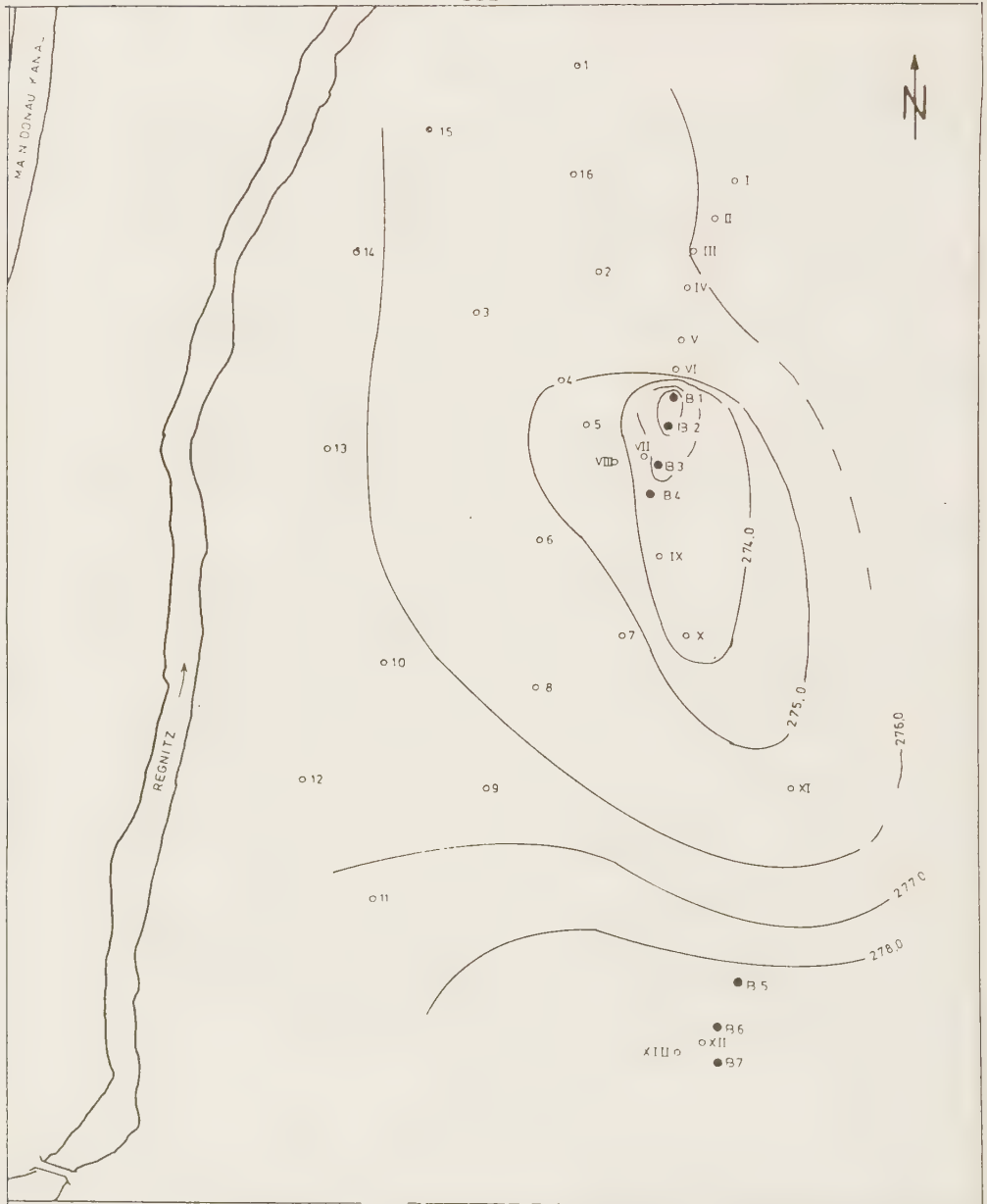
5.3.1. Grundwassergleichen-Karten:

Die GW-Stände wurden bei den einzelnen Pegeln jeweils in m über NN für die entsprechenden Monate verwendet und in Isolinenplänen (GW-Gleichen-Karten) dargestellt.

Das GW fließt auf die Regnitz als Vorfluter zu. Diese Fließrichtung macht sich bei den Betriebswasserspiegeln auch in den äußeren Bereichen des Entnahmetrichters bemerkbar (siehe Abb. 5/12 bis 5/16).

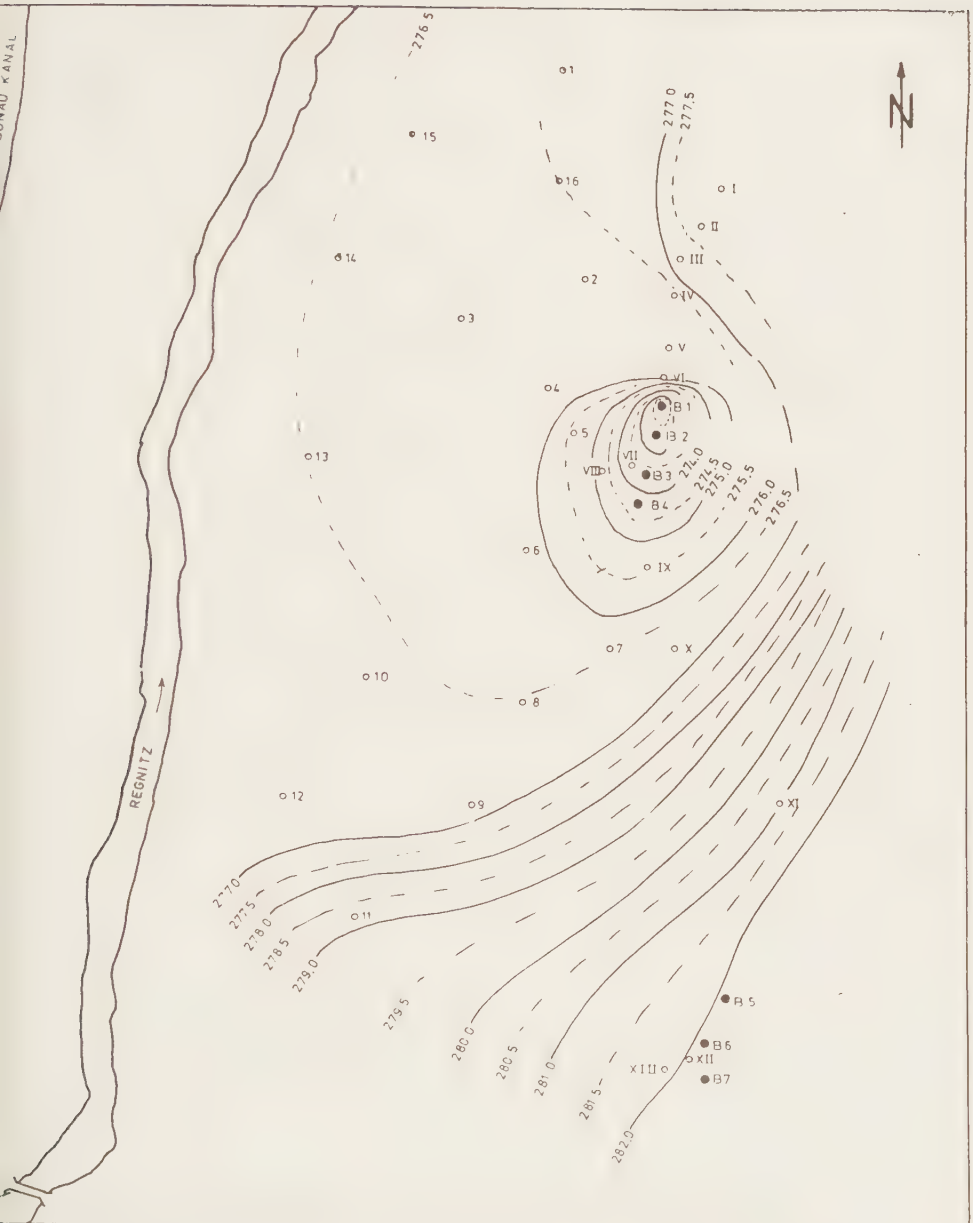
Da die Pegel im Bereich Eltersdorf im Quartär liegen und monatlich zweimal gemessen wurden, waren die Voraussetzungen für die Erstellung der GW-Isolinenpläne erfüllt.

Die GW-Stände sind im Sommerhalbjahr erwartungsgemäß etwas niedriger als im Winterhalbjahr. Die Unterschiede zwischen Winter- und Sommerhalbjahr existieren nicht nur bei den Höhen über NN, sondern auch beim Gefälle (siehe Abb. 5/12 und 5/13).



ELTERS DORF

Abb.5/12: Betriebswasserspiegel des
Wasserwerks vom 27.11.80



ELTERS DORF

- B1 Brunnen 1.7
- I, I Pegel 1.16 und I. XIII

Abb.5/13: Betriebswasserspiegel des
Wasserwerks vom 07.04.1982

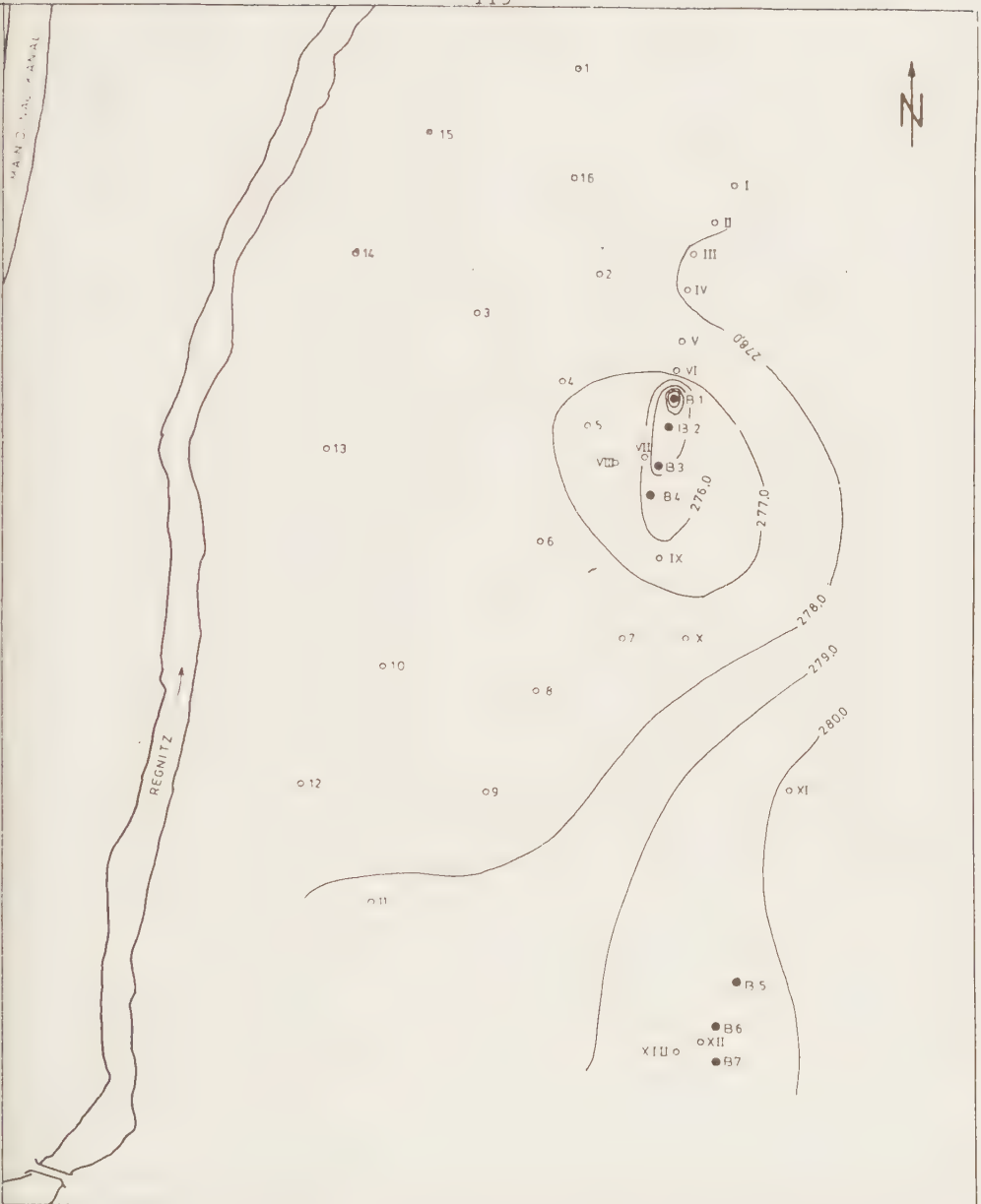
1:5000



ELTERS DORF

- B* Brunnen 1,7
- 1.1 Pegel 1,15 und I., XII

Abb.5/14:Betriebswasserspiegel des
Wasserwerks vom 24.11.1982

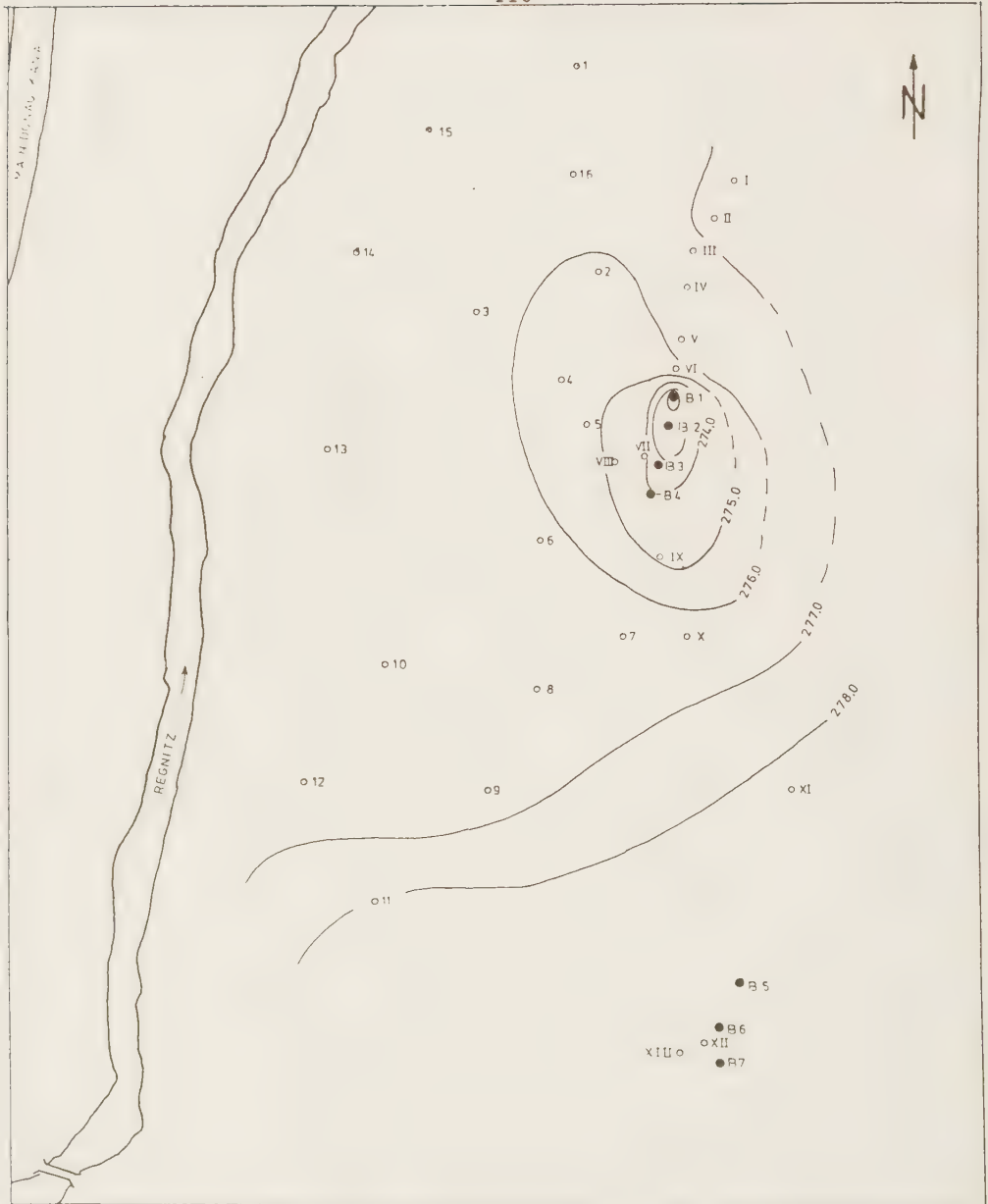


ELTERS DORF

● B1 Brunnen 1.7
 ○ I I Pegel 1.16 und I - XIII

1:5000

Abb.5/15:Betriebswasserspiegel des
 Wasserwerks vom 20.04.1983



ELTERS DORF

Abb.5/16:Betriebswasserspiegel des
Wasserwerks vom 15.06.1983

● B1 Brunnen 1.7
○ 1.1 Pegel 1.16 und 1. XIII

1:5000

5.3.2. Karten der Flurabstände:

Die Karten der Flurabstände des GW-Spiegels zeigen deutlich, daß der GW-Spiegel jeweils im Herbst seinen tiefsten Stand erreicht (siehe Abb. 5/18-5/20 und 5/21).

Im Winterhalbjahr und im April dagegen steigt der GW-Spiegel stark an und erreicht nordwestlich der Brunnenfassungen bis zu 1.0 m Flurabstand (siehe Abb. 5/17-5/19 und 5/22).

5.3.3. Vergleich der GW-Ganglinien verschiedener Pegel:

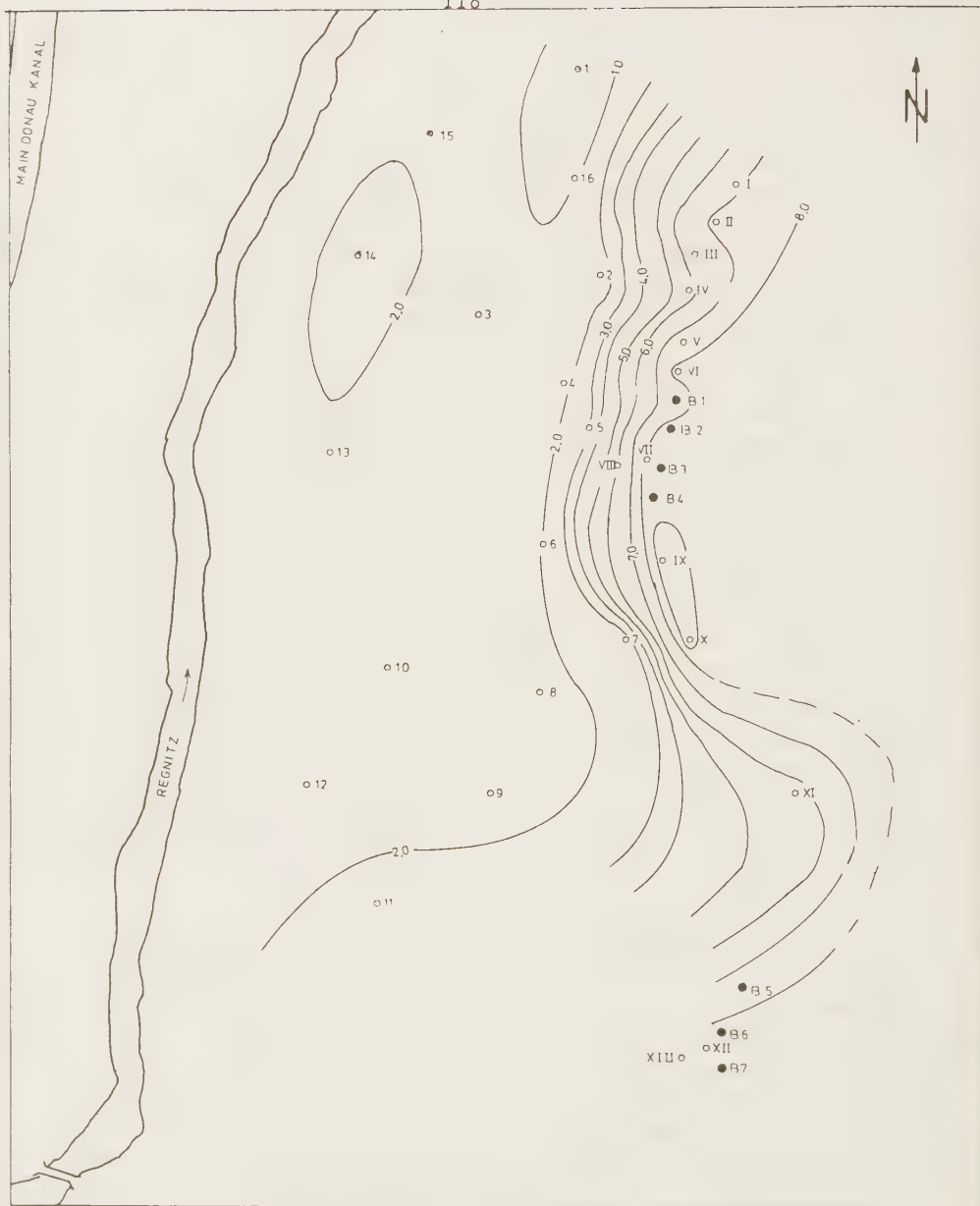
Die Gestalt einer GW-Ganglinie ist unter anderem vom Zu- und Abstrom des Grundwassers ^{von} der GW-Neubildung, vom Flurabstand ^{von} der Lage des Vorfluters, dessen Abflußverhalten und den Eingriffen des Menschen in den Wasserhaushalt abhängig (RICHTER & LILLICH, 1975).

Da es sich hier um einen Aquifer mit freier GW-Oberfläche handelt, machen sich diese Einflüsse sofort bemerkbar.

Während der fünfjährigen Beobachtungszeit (siehe Abb. 5/24 bis 5/26) in 15 Pegeln schwankten die GW-Stände um 1.5 m; die größte Schwankung wurde mit 2.5 m Differenz zwischen Höchst- und Tiefstlage im Pegel 5 festgestellt, der sich in der Nähe der Eltersdorfer Brunnengalerie befindet (siehe Abb. 5/25). In den Jahresabschnitten, in denen der Niederschlag sehr hoch war, erreichten die GW-Ganglinien ihren höchsten Stand und in allen 15 Pegeln verliefen die Ganglinien gleichsinnig (vgl. Abb. 5/24-5/26 mit 5/27).

Die GW-Schwankungen, die in den Pegeln 13 und 14 beobachtet wurden, haben die niedrigsten Amplituden und eine mittlere Schwankung von max. 1.0 m. Erwartungsgemäß erreichten die GW-Stände ihren tiefsten Stand in den Pegeln, die in der Nähe der Brunnenfassungen liegen.

Im Jahre 1977 war die Niederschlagssumme höher als in den anderen Jahren (nach Angaben des Deutschen Wetterdienstes in Nürnberg: 806 mm). Aus den Pegelaufzeichnungen und den daraus entwickelten Ganglinien ist aber nur schwer zu erkennen, ob die Höhe der Niederschläge einen großen Einfluß, wie erwartet, auf das GW hat. Aus den dort beobachteten Schwankungen kann eine direkte Korrespondenz des Grundwassers auf die Niederschläge jedenfalls nicht eindeutig abgeleitet werden. Aber in den Pegeln 12 und 15 erreichten die GW-Stände ihren höchsten Stand im Vergleich zu dem Stand in den anderen Jahren (im 1977).

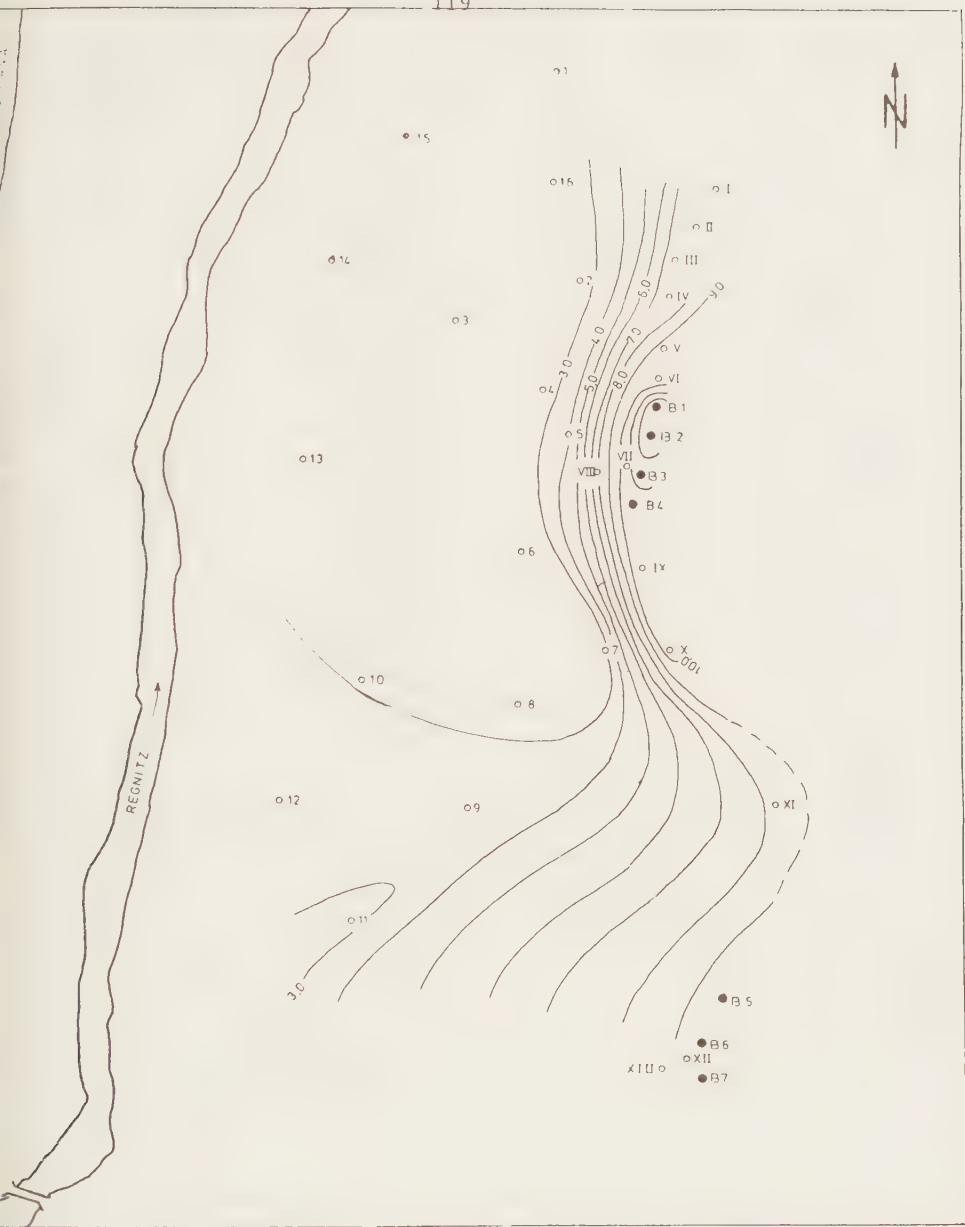


ELTERS DORF

Abb.5/17:Flurabstandskarte vom 18.04.1979

● B1 Brunnen 1..7
 ○ I, I Pegel 1..16 und I..XIII

1:5000



ELTERSDORF

● B1 Brunnen 1.7
 ○ 1.1 Pegel 1.16 und 1. XIII

Abb. 5/18: Flurabstandskarte vom 07.11.79

1:5000

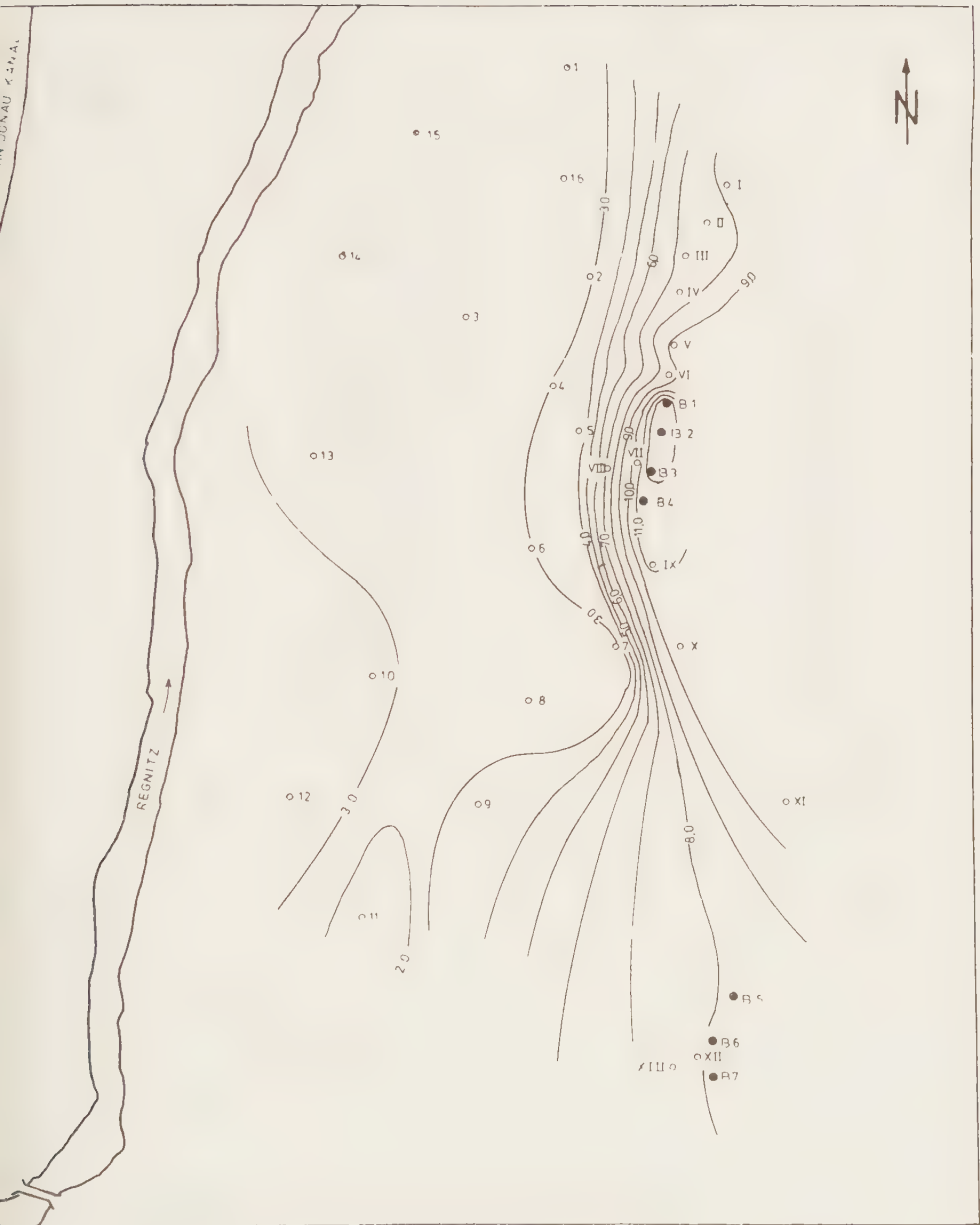


ELTERSDOORF

Abb.5/19 :Flurabstandskarte vom 16.04.80

● B1 Brunnen 1-7
○ 1, I Pegel 1, 16 und 1-XIII

1:5000



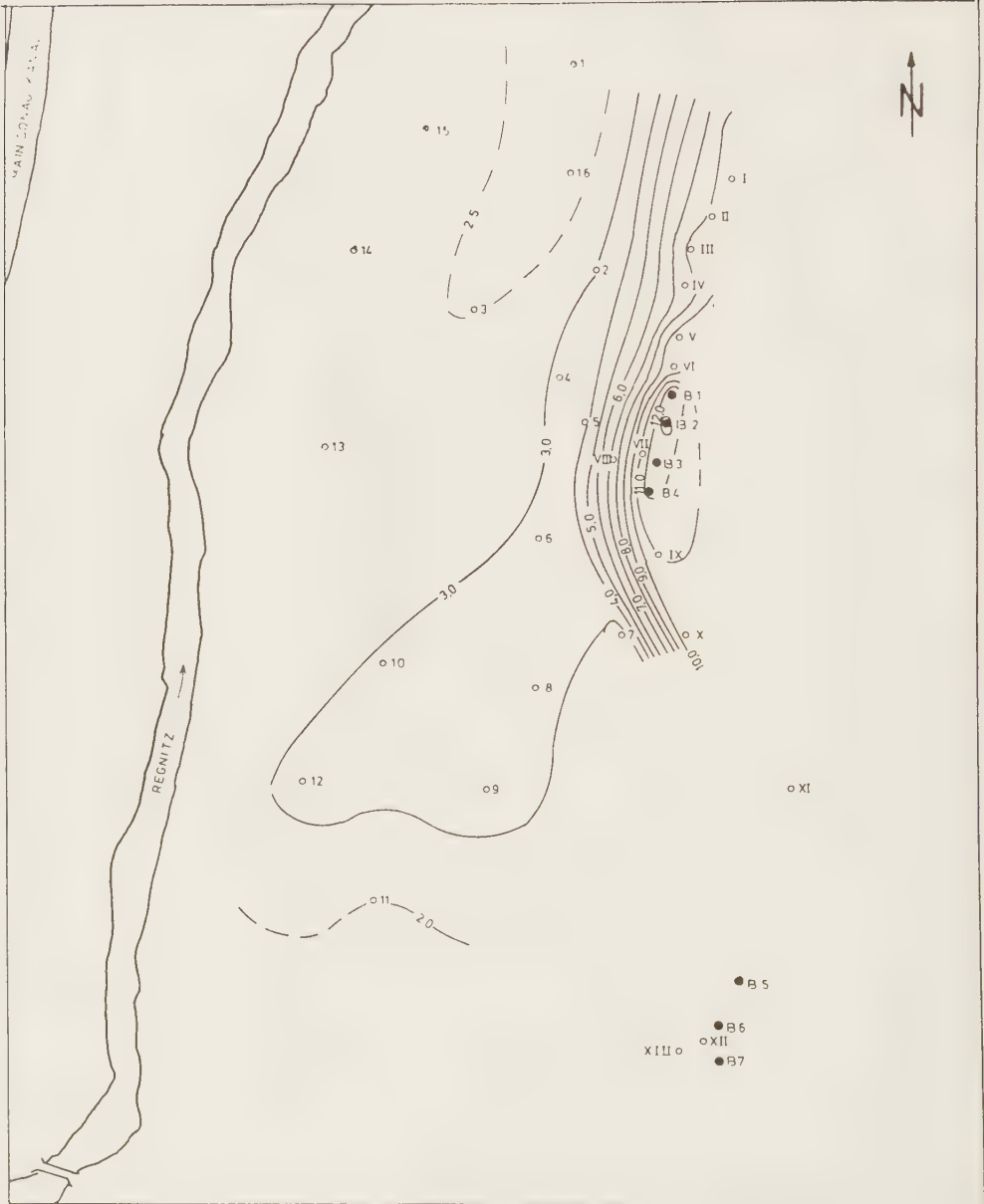
ELTERS DORF

● B1 Brunnen 1-7

○ 1, I Pegel 1, 16 und 1- XIII

Abb.5/20:Flurabstandskarte vom 27.11.80

1:5000



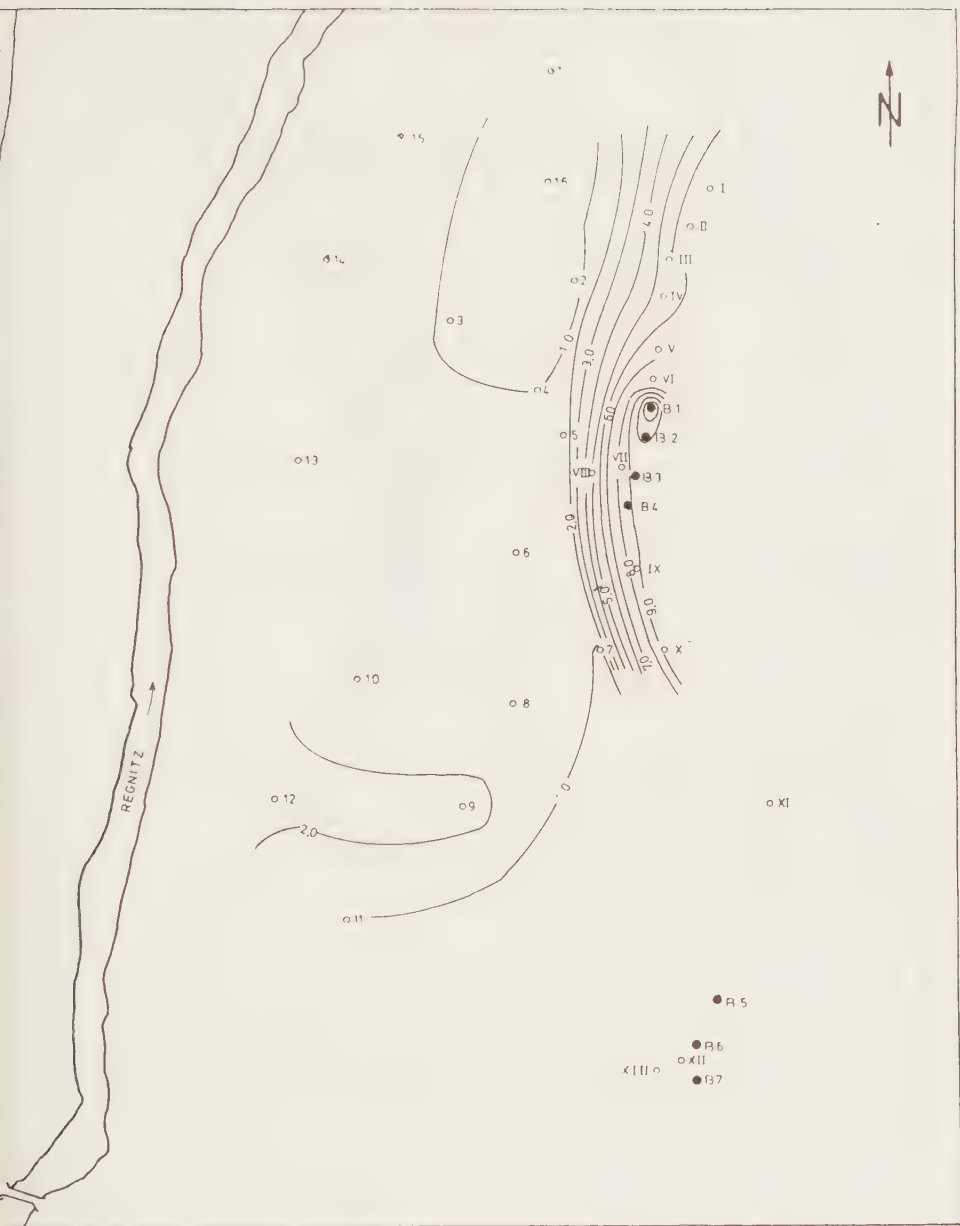
ELTERS DORF

Abb.5/21:Flurabstandskarte vom 24.11.82

● B1 Brunnen 1_7
 ○ 1,I Pegel 1_16 und I_XII

1.5000

Z DEMIREL



ELTERS DORF

● B1 Brunnen 1.7
 ○ I.16 und I. XIII
 1:5000

Abb.5/22:Flurabstandskarte vom 20.04.83



Abb.5/23:Flurabstandskarte vom 15.06.83

1 5000

Z. DEMIREL

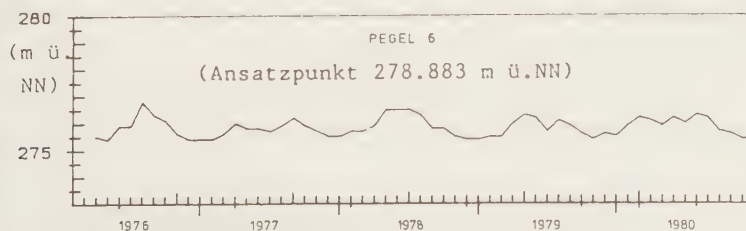
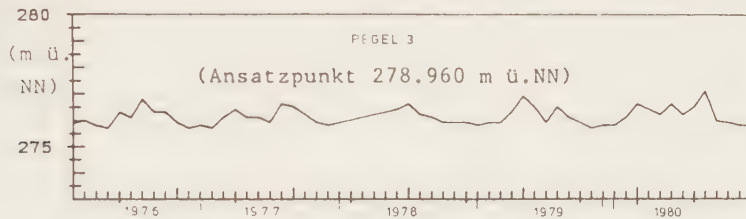
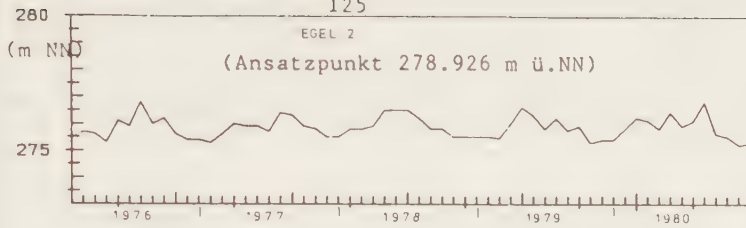


Abb.5/24:GW-Ganglinien in den Pegeln 2 bis 6

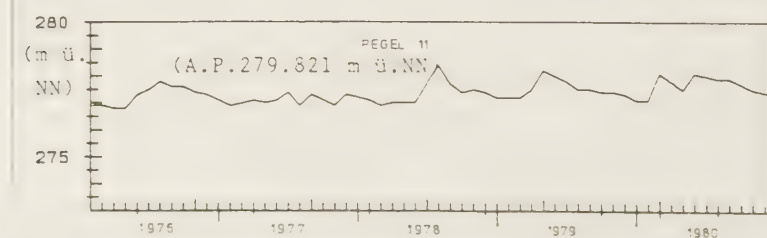
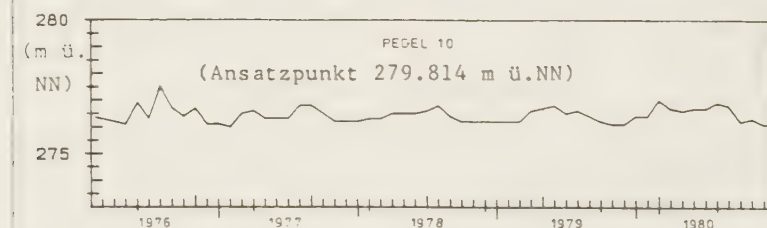
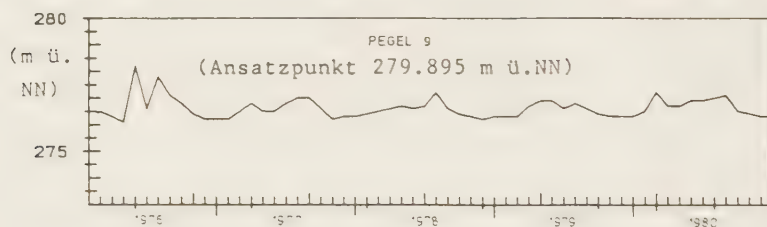
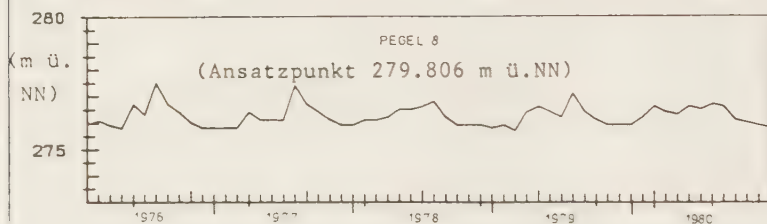
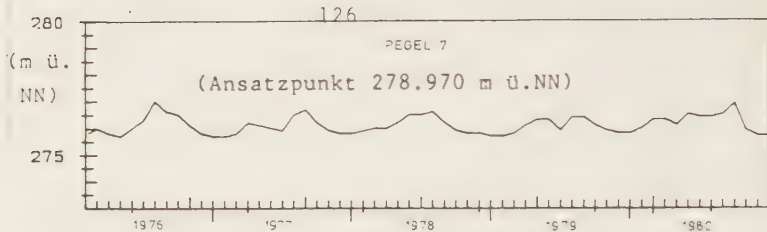


Abb5/25:GW-Ganglinien in den Pegeln 7 bis 11)

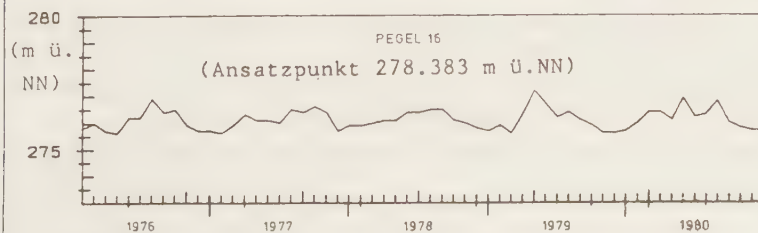
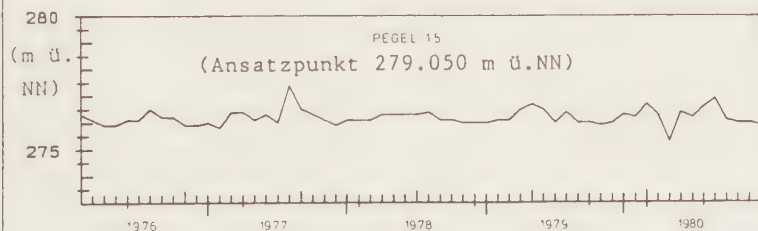
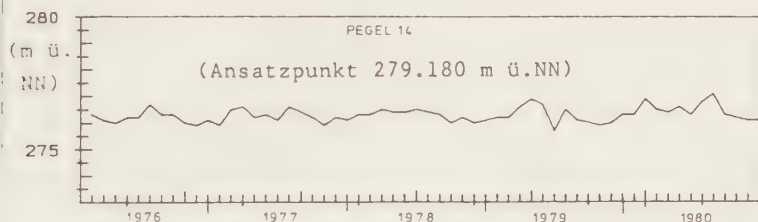
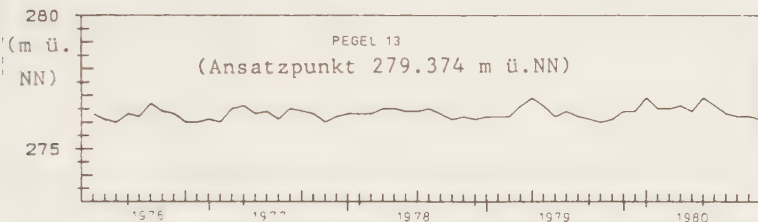
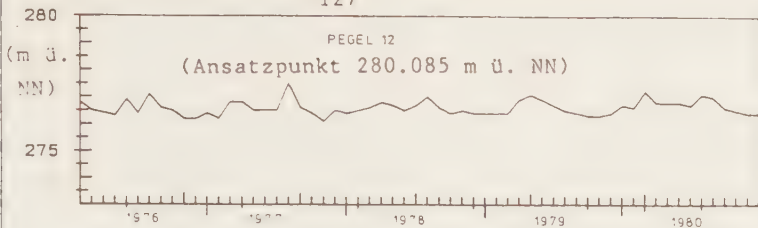


Abb.5/26:GW-Ganglinien in den Pegeln 12 bis 16)

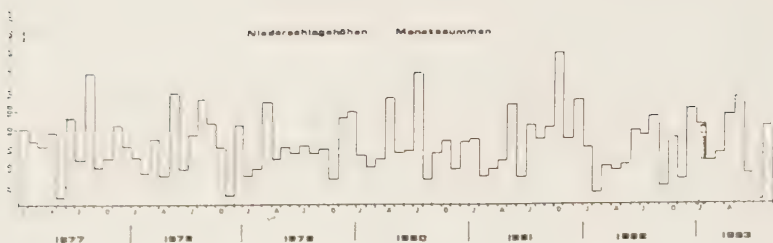


Abb.5/27:Niederschlagshöhen(Monatssummen)

5.4.Aquifer-Kenndaten:

Von den Kenndaten des Aquifers konnte der Durchlässigkeitsbeiwert nur für Teilgebiete bestimmt werden.

Die genauesten Durchlässigkeitsbeiwerte, die zumindest für das Gebiet um den Absenkungsbereich gelten, erhält man aus Pumpversuchen. Im gesamten Arbeitsgebiet wurden aber nur zwei Pumpversuche gemacht, von denen der eine im Bereich des Kraftwerkes Franken II und der andere bei den Brunnenfassungen der Eltersdorfer Gruppe durchgeführt wurde.

Außerdem wurden aus den Körnungslinien von Bohrproben im Bereich des Kraftwerkes Franken II die k_f -Werte berechnet, die einen Überblick über die ungefähre Verteilung der Durchlässigkeiten im untersuchten Raum geben könnten. Weil in dem zwischen Eltersdorf und Kraftwerk Franken II liegenden Raum die Daten zur Ermittlung des k_f -Wertes fehlten, mußten deshalb Näherungsverfahren eingesetzt werden. Für die näherungsweise Ermittlung des k_f -Wertes wurden die Ergebnisse geoelektrischer Sondierungen herangezogen. Aber die auf diese Weise ermittelten Werte können nicht die durch Pumpversuche berechneten Werte ersetzen, da sie nicht den gesamten Aquifer einbeziehen im Gegensatz zum Pumpversuch.

5.4.1. Pumpversuchsergebnisse:

Im Bereich des Kraftwerkes Franken II wurde im Jahre 1965 ein Pumpversuch zur Festlegung des k_f -Wertes durchgeführt. Im Rahmen des unveröffentlichten Gutachtens der Bayerischen Landesgewerbeanstalt wurde dieser Pumpversuch ausgewertet.

Um einen Brunnen (B 116) wurden 8 Peilrohre zur Beobachtung

der Wasserabsenkung abgeteuft.

Nach der DUPUIT-THIEM-Beziehung für freies GW

$$k_f = \frac{Q \cdot (\ln r_2 - \ln r_1)}{3.1416 \cdot (h_2^2 - h_1^2)} \quad (5.1)$$

Q : Entnahme (m^3/s)

h_1/h_2 : Standrohrspiegelhöhen in den betrachteten Meßstellen
1 und 2 (m)

r_1/r_2 : zugehörige Entfernungen (m)

ergab sich im Mittel ein k_f -Wert von $0.97 \cdot 10^{-3}$ m/s für kiesige Sande im Quartär.

Ein weiterer Pumpversuch wurde im Jahre 1983 von G.DAFNER im Bereich der Eltersdorfer Brunnenfassungen durchgeführt. Dieser Pumpversuch ergab folgende Ergebnisse;

$Q = 21.5 \text{ m}^3/s$ (Entnahme)

$M = 13.61 \text{ m}$ (Aquifermächtigkeit an dieser Stelle)

$k_f = 1.13 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ (nach THEIS)

$T = 0.01699 \text{ m}^2/s$ (Transmissivität)

Die aus den Ergebnissen beider Pumpversuche ermittelten k - Werte stimmen mehr oder weniger gut überein.

5.4.2. Die Bestimmung der Durchlässigkeitsbeiwerte aus den Körnungslinien :

Im Bereich des Kraftwerkes Franken II wurden in den Jahren 1980/81 für Bauvorhaben mehrere Bohrungen durchgeführt. An den Proben, die aus diesen Bohrungen stammen, wurden im Rahmen des unveröffentlichen Gutachtens der LGA Körnungsanalysen durchgeführt, so daß mit den aus diesem Gutachten stammenden Körnungslinien die k - Werte berechnet werden konnten.

Da der Feinkornanteil in einem Lockergestein hinsichtlich der hydraulischen Leitfähigkeit entscheidend ist, kam HAZEN (1893) zu folgender Beziehung (im B.HÖLTING 1980, S.129).

$$k_f = 0.0116 \cdot (d_{10}(\text{mm}))^2 \quad (\text{m/s}) \quad (5.2)$$

d_{10} : Korngröße eines Lockergesteins im Schnittpunkt der 10% Linie mit der Summenkurve; "wirksame Korngröße"

Die HAZEN-Formel gilt nur, wenn der Ungleichförmigkeitsgrad (u) kleiner als 5 ist.

Andere Autoren geben ähnliche Formeln an :

$$\text{SEELHEIM : } k_f = 0.00357 \cdot (d_{50}(\text{mm}))^2 \quad (\text{m/s}) \quad (5.3)$$

BEIER(1964) : variierte den Proportionalitätsfaktor (c) in der HAZEN'schen Formel je nach dem Ungleichförmigkeitsgrad(Temperatur $t=10^\circ$).

U	c
1.0-1.9	$110 \cdot 10^{-4}$
2.0-2.9	$100 \cdot 10^{-4}$
3.0-4.9	$90 \cdot 10^{-4}$
5.0-9.9	$80 \cdot 10^{-4}$
10.0-19.9	$70 \cdot 10^{-4}$
größer 20.0	$60 \cdot 10^{-4}$

Tab.5/6 :Proportionalitätsfaktor(c) in Abhängigkeit vom Ungleichförmigkeitsgrad(U) BEIER,1964

$$k_f = c \cdot (d_{10}(\text{mm}))^2 \quad (\text{m/s}) \quad (5.4)$$

$$\text{BIALAS(1971): } k_f = 0.0036 \cdot (d_{20}(\text{mm}))^{2.3} \quad (\text{m/s}) \quad (5.5)$$

Durch die Daten, die aus den Bohrungen B146-B147-B148 und B149 stammen, wurden die k_f -Werte nach den oben genannten Autoren berechnet und in einer Tabelle dargestellt(siehe Tab.5/7).

ENTNAHME STELLE	ENTNAHME TIEFE (m)	BODENART	DIE DURCHLÄSSIGKEITSBEIWERTE											
			nach HAZEN			nach SEELHEIM		nach BIALAS		nach BEIER				
			u	d ₁₀ (%)	k _f (m/s)	d ₅₀ (%)	k _f (m/s)	d ₂₀ (%)	k _f (m/s)	u	c·10 ⁴	d ₁₀ (%)	k _f (m/s)	
B 146	3.8 - 4.0	S, g	4.5	0.175	3.6·10 ⁴	0.63	1.4·10 ³	0.31	2.4·10 ⁴	4.5	90	0.175	2.8·10 ⁴	
B 146	5.5 - 5.7	S, g	2.7	0.27	8.5·10 ⁴	0.60	1.3·10 ³	0.34	3.0·10 ⁴	2.7	100	0.27	7.3·10 ⁴	
B 147	4.0 - 4.2	S	2.6	0.275	8.8·10 ⁴	0.61	1.3·10 ³	0.36	3.4·10 ⁴	2.6	100	0.275	7.6·10 ⁴	
B 147	9.8 - 10.0	S, g	12	-	-	0.87	2.7·10 ³	0.3	2.3·10 ⁴	12	70	0.145	1.5·10 ⁵	
B 147	14.8 - 15.0	S	3.6	0.2	4.6·10 ⁴	0.59	1.2·10 ³	0.3	2.3·10 ⁴	3.6	90	0.2	3.5·10 ⁴	
B 148	10.3 - 10.5	S, g	2.8	0.6	4.2·10 ³	1.42	7.2·10 ³	0.9	2.8·10 ³	2.8	100	0.6	3.6·10 ⁴	
B 148	12.8 - 13.0	S, g	3.2	0.6	4.2·10 ³	1.6	9.1·10 ³	0.88	2.7·10 ³	3.2	90	0.6	3.2·10 ⁴	
B 148	15.8 - 16.0	S, g	2.1	0.4	1.9·10 ³	0.8	2.3·10 ³	0.56	9.5·10 ⁴	2.1	100	0.4	1.6·10 ⁴	
B 149	7.3 - 7.5	S, g	3.4	0.35	1.4·10 ³	0.96	3.3·10 ³	0.51	9.4·10 ⁴	3.4	90	0.35	1.1·10 ⁴	
B 149	11.3 - 11.5	S, g, u	2.3	-	-	1.45	7.5·10 ³	0.42	4.9·10 ⁴	2.3	60	0.09	4.9·10 ⁴	
B 149	17.5 - 17.7	S, g	3.2	0.3	1.0·10 ³	0.8	2.3·10 ³	0.5	7.3·10 ⁴	3.2	90	0.3	8.1·10 ⁴	

Tab.5/7: Aus den Körnungslinien von Quartärsanden berechnete k_f -Werte (nach verschiedenen Autoren)

5.4.3 Durchlässigkeitsbeiwert-Bestimmung aus dem spezifischen elektrischen Widerstand:

Nach FRITSCH (in BUSCH & LUCKNER, 1974) läßt sich der k_f -Wert aus den spez. Gesteinswiderständen für Lockergesteine mit normalem Grundwasser berechnen:

$$k_f = 0.00063 (\log \rho - 0.8)^{3.9} \text{ (m/s)} \quad (5.6)$$

ρ : spezifischer elektrischer Widerstand

Der Fehler nach dieser Gleichung darf eine halbe Zehnerpotenz nicht übersteigen. Da im untersuchten Raum geoelektrische Sondierungen durchgeführt wurden, wurde versucht, mit Hilfe dieser Gleichung (5.6) zusätzliche Informationen über die k_f -Werte des Untergrundes zu erhalten.

In der Tab. 5/8 sind die k_f -Werte, die auf diese Weise berechnet worden sind, angegeben.

nr. der Sondierung	Lithologie	zugehör. Tiefe m	spez. Gesteinswiderstand Ohm m	k_f -Wert nach FRITSCH (m/s)	SE 26	T	13.5	65	$6.62 \cdot 10^{-7}$
SE 7	S	0.0-3.2	84	$9.94 \cdot 10^{-4}$	GE 25	S	3.4-12.3	15	$1.55 \cdot 10^{-3}$
SE 7	T	3.2	30	$1.37 \cdot 10^{-4}$	GE 25	T, s	12.3	65	$6.62 \cdot 10^{-4}$
SE 39	S	5.3-9.1	260	$4.08 \cdot 10^{-3}$	GE 49	S	1.6-3.6	70	$7.68 \cdot 10^{-4}$
SE 39	T	11.30	30	$1.37 \cdot 10^{-4}$	GE 49	S	3.4-11.1	110	$1.56 \cdot 10^{-3}$
SE 4	T, s	11.0	60	$5.77 \cdot 10^{-4}$	GE 49	S	13.1-16.1	110	$1.12 \cdot 10^{-3}$
SE 40	S	3.4-11.0	110	$1.46 \cdot 10^{-3}$	GE 49	S	16.1	110	$1.08 \cdot 10^{-3}$
SE 40	S, x	11.0-18.7	220	$3.41 \cdot 10^{-3}$	GE 49	S	3.6-7.8	110	$1.10 \cdot 10^{-3}$
SE 40	T	18.7	35	$1.98 \cdot 10^{-4}$	GE 49	S	7.8-16.8	120	$1.46 \cdot 10^{-3}$
SE 40	S, x	4.1-12.6	280	$4.41 \cdot 10^{-3}$	GE 49	S	18.5	110	$1.46 \cdot 10^{-3}$
SE 41	T	12.6	35	$1.98 \cdot 10^{-4}$	GE 49	S	11.0-16.1	110	$1.12 \cdot 10^{-3}$
SE 42	S, u	1.1-8.1	130	$1.82 \cdot 10^{-3}$	GE 49	S, u	0.5-14.1	80	$9.23 \cdot 10^{-4}$
SE 42	S, x	8.1-16.1	220	$3.41 \cdot 10^{-3}$	GE 49	T	14.1	110	$1.10 \cdot 10^{-3}$
SE 42	T	16.1	34	$1.86 \cdot 10^{-4}$	GE 50	S	8.4-9.9	120	$1.66 \cdot 10^{-3}$
SE 43	S	3.3-17.2	120	$1.66 \cdot 10^{-3}$	GE 50	T	9.9	110	$1.10 \cdot 10^{-3}$
SE 43	T	17.2	50	$4.15 \cdot 10^{-4}$	GE 50	T	2.5-5.9	35	$1.98 \cdot 10^{-4}$
SE 44	S, t	5.9-8.5	80	$9.23 \cdot 10^{-4}$	GE 11	S	5.9-18.4	10	$1.10 \cdot 10^{-3}$
SE 44	S, u, x	8.5-10.5	640	$9.51 \cdot 10^{-3}$	GE 11	T	18.4	38	$2.38 \cdot 10^{-4}$
SE 44	T, s	10.5	56	$5.44 \cdot 10^{-4}$	GE 17	S, u	1.5-5.7	70	$7.68 \cdot 10^{-4}$
SE 45	S, t	3.5-8.7	75	$8.35 \cdot 10^{-4}$	GE 17	S, x	5.7-15.2	130	$1.82 \cdot 10^{-3}$
SE 45	S, x	8.7-13.7	210	$3.24 \cdot 10^{-3}$	GE 17	S	15.2-20.2	110	$1.10 \cdot 10^{-3}$
SE 45	T	13.7	48	$3.84 \cdot 10^{-4}$	GE 17	T	20.2	50	$4.15 \cdot 10^{-4}$
SE 45	S, u	1.7-7.2	65	$6.62 \cdot 10^{-4}$	GE 10	S	0.5-6.7	100	$1.28 \cdot 10^{-3}$
SE 28	S	7.2-14.7	100	$1.28 \cdot 10^{-3}$	GE 10	S	6.7-26.7	80	$9.23 \cdot 10^{-4}$
SE 28	T	14.7	45	$3.39 \cdot 10^{-4}$	GE 10	T	26.7	30	$1.37 \cdot 10^{-4}$
SE 27	S, u	1.9-7.4	70	$7.48 \cdot 10^{-4}$	GE 3	S	5.0-8.0	100	$1.28 \cdot 10^{-3}$
SE 27	S, x	7.4-13.9	110	$1.46 \cdot 10^{-3}$	GE 3	S, x	8.0-12.0	210	$3.24 \cdot 10^{-3}$
SE 27	T	13.9	43	$3.09 \cdot 10^{-4}$	GE 3	T	12.0	45	$3.39 \cdot 10^{-4}$
SE 26	S	3.8-13.5	105	$1.37 \cdot 10^{-3}$					

Lage der Sondierungen siehe Anlage 1--Symbole siehe Tab. I

Tab. 5/8: Aus den spez. Widerständen berechnete k_f -Werte

Die kiesigen und steinigen Sandablagerungen im Quartär, die Grundwasser führen, weisen spez. Gesteinswiderstände von 80-280 Ohm m und k -Werte zwischen $9.23 \cdot 10^{-4}$ - $4.41 \cdot 10^{-3}$ m/s auf.

Mittelwerte ϱ_s ; $\varrho_s = 131.0$ Ohm m $k_f = 1.88 \cdot 10^{-3}$ m/s

Die Sandablagerungen, die mehr oder weniger tonig oder schluffig sind, ergeben spez. Widerstände von 64.0-130.0 Ohm m und k_f -Werte von $6.45 \cdot 10^{-4}$ - $1.82 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Mittelwerte $\varrho_s = 78.0$ Ohm m $k_f = 8.94 \cdot 10^{-4}$ m/s

Die tonführenden Keuperschichten ergeben spez. Widerstände von 20.0-40.0 Ohm m und k_f -Werte von $4.25 \cdot 10^{-5}$ - $2.66 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Die auf diese Weise ermittelten k_f -Werte in grundwasserführenden quartären Ablagerungen weichen wenig von den durch Pumpversuche ermittelten k_f -Werten ab. Die ebenso berechneten k_f -Werte für die tonführenden Keuperschichten ergaben höhere Werte als die erwarteten. Das liegt daran, daß die Keuperschichten im Prospektionsgebiet mehr oder weniger sandig sind.

5.5. Wasserbilanz und Grundwasserneubildung :

Die Wasserbilanz hängt von Faktoren wie Klima, Untergrundbeschaffenheit, Bodenbildung und Morphologie ab.

Nachfolgend sind klimatische Angaben angeführt, die dem hydrologischen Atlas der BRD entnommen wurden :

		Durchschnitt
1) Mitt. Niederschlagshöhe(n) (1931-60)	650-700 mm	760 mm
2) Mittl. jährliche Verdunstung(=V) "	500-550 mm	500 mm
"berechnet nach Wasserhaushalt"		
Mittlere jährliche aktuelle V "	400-450 mm	
"nach ALBRECHT"		
Mittl. jährliche aktuell V "	450-500 mm	
"nach PENMAN"		
3) Mittl. Abfluß(A)-Höhe	150-200 mm	160 mm
"errechnet nach der Wasserhaushaltsgleichung "		

Die potentielle Evapotranspiration wurde außerdem mit Hilfe von Angaben des Deutschen Wetterdienstamtes in Nürnberg nach THORNTHEWEITE berechnet. Danach ergibt sich, daß die pot.

Evapotranspiration (ETpot.) für den Zeitraum 1977-82 einen Jahresdurchschnitt von 510 mm hat.

Unter Berücksichtigung von Bodenfeuchteänderungen mit einer Feldkapazität von 150 mm (nach Angaben des Hydrologischen Atlas der BRD ist die Feldkapazität für den untersuchten Raum kleiner als 200 mm und liegt bei etwa 150-160 mm) erhält man für die aktuelle Evapotranspiration einen Wert von 490-500 mm.

Außerdem wurde mit der Gleichung nach GRAY (von TURC) für die aktuelle Evapotranspiration ein Wert von 455 mm (Durchschnitt) berechnet.

Trotz einer Abweichung von ca. 7% liegen die Werte für die aktuelle V in den Grenzen, die im Hydrologischen Atlas der BRD angegeben waren. Im Gewässerkundlichen Jahrbuch sind eine mitt. Niederschlagshöhe von 717 mm und eine mittlere Abflußhöhe von 214 mm angegeben. Daraus ergibt sich nach einer groben Berechnung mit der Gleichung 5.7 eine Verdunstungshöhe von 503 mm.

$$V = N - A \quad (5.7)$$

V: Verdunstung N: Niederschlag A: Abfluß

Da für kürzere Zeiträume die unten angegebene Gleichung (5.8) gilt, wurde für das hydrologische Jahr 1978 die Wasserbilanz graphisch dargestellt (siehe Abb. 5/28).

$$N = V + A + (R - B) \quad (5.8)$$

N: Niederschlag V: Verdunstung A: Abfluß
R: Rücklage B: Aufbrauch

In den Monaten des Winterhalbjahres werden wegen des höheren Niederschlages und der geringeren Verdunstung Rücklagen gebildet, dagegen tritt in den Monaten des Sommerhalbjahres wegen höherer Verdunstung Aufbrauch des Wassers ein. Aber im Mai wird wegen des hohen Niederschlages Rücklage gebildet.

Ein weiterer einflußreicher Faktor für die GW-Neubildung ist die Beschaffenheit des Untergrundes bzw. die Art und Mächtigkeit junger Bodenbildungen. In der Regel bestehen die Bodenbildungen aus lehmigen, schluffigen Sanden und Kiessanden. Im hydrologischen Jahrbuch der BRD (1975) wurde ein Wert der Leitböden bis 2 m Tiefe in dem untersuchten Raum von ca. 100 cm/Tag ($= 1.16 \cdot 10^{-5}$ m/s) angegeben. In den Teilgebieten, die mit tonigen und stark schluffigen Schichten bedeckt sind, senkt sich die Rate

der GW-Neubildung stark durch die Verminderung des k_f -Wertes.

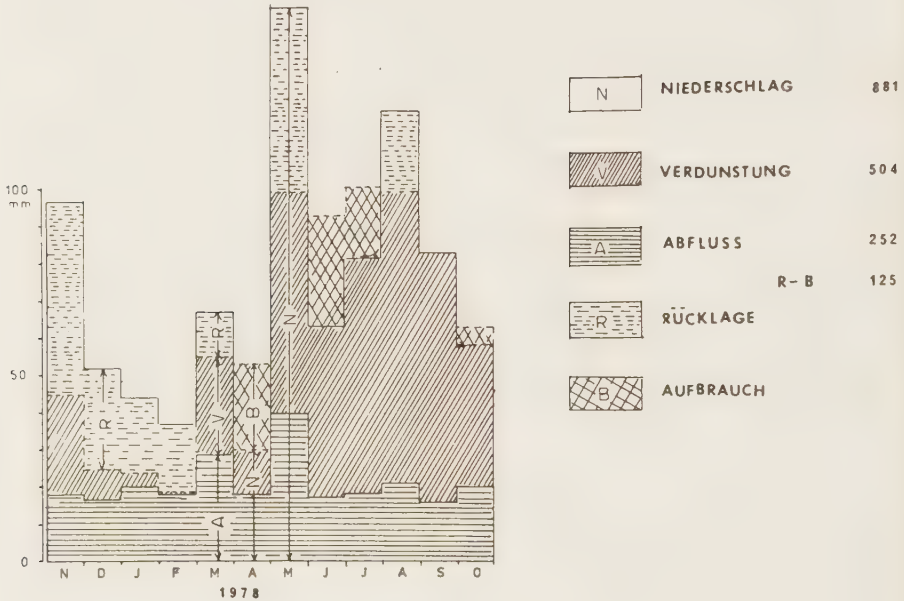


Abb.5/28 :Grundwasserbilanz von 1978

BERECHNUNG DER GRUNDWASSER-NEUBILDUNGSRATE: Zur Berechnung der GW-Neubildungsrate wurde die Methode von WUNDT(1958) benutzt: Nach WUNDT wird ein Maß für den durchschnittlichen GW-Abfluß mit dem Mittelwert aller Monats-NQ(MNQ) (NQ=Niedrigster Abfluß, MNQ=Mittlerer Niedrigstwert) berechnet.

Es stehen uns die MNQ-Werte zwischen 1954-1978 und die NQ-Werte zur Verfügung. Mit Hilfe der Daten wurden die unten angegebenen Werte berechnet:

Mittlere GW-Spende	4.58 l/s.km ²	
Kleinste GW-Spende	2.40 l/s.km ²	(siehe Tab.5/9)
GW-Neubildungsrate	144.04 mm/a	(siehe Tab.5/10)
Kleinste GW-Neubildungsrate	75.10 mm/a	

Im Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Regnitz wurde für den untersuchten Raum eine Abflußspende von weniger als 5.0 l/s.km²

angegeben, ein Wert, der von den berechneten Werten gestützt wird (siehe Tab.5/9).

Monate	MNQ(1954-78) (m ³ /s)	l/s.km ²	mm
N	16.8	4.3	11.15
D	18.1	4.6	12.32
J	19.9	5.1	13.66
F	22.1	5.7	13.79
M	23.1	5.9	15.80
A	21.6	5.5	14.26
M	17.4	4.4	11.78
J	15.5	4.0	10.37
J	14.2	3.6	9.64
A	14.7	3.7	9.91
S	15.2	3.9	10.11
O	16.5	4.2	11.25
Jahressumme		54.9	144.04
Monatsmittel		4.58	12.00

Tab.5/9: Abflußspende (nach WUNDT)

Monate	NQ (1954-78) (m ³ /s)	l/s.km ²	mm
N	12.0	3.1	8.3
D	9.59	2.4	6.2
J	7.97	2.0	5.4
F	7.60	1.9	4.6
M	11.1	2.8	7.5
A	13.2	3.4	3.8
M	10.4	2.6	6.9
J	7.70	1.9	4.9
J	7.07	1.8	4.8
A	7.10	1.8	4.8
S	8.78	2.2	5.7
O	10.70	2.7	7.2
Jahressumme		28.6	75.1
Monatsmittel		2.4	6.3

Tab.5/10: Minimale GW-Spende (nach WUNDT)

Da sich im untersuchten Raum das Wasserwerk der Eltersdorfer Gruppe befindet, wurde versucht, die GW-Neubildungsrate aus Wasserwerksdaten zu ermitteln.

Wenn die mittlere GW-Entnahme eines Wasserwerkes aus langjährigen Meßreihen bekannt ist und die Größe des zugehörigen unterirdischen Einzugsgebietes bestimmt werden kann, errechnet sich die GW-Neubildungsrate als (B.HÖLTING, 1980, S.59):

$$G = \frac{Q_m (1/s)}{F_E (km^2)} \quad (1/s \cdot km^2) \quad (5.8)$$

G: Grundwasser-Neubildungsrate

Q_m: langjährige, mittlere Wasserförderung

F_E: Zugehöriges unterirdisches Einzugsgebiet

Es ist zu beachten, daß dabei die mittlere langfristig nutzbare GW-Neubildungs^{rate} berechnet wird. Die tatsächliche GW-Neubildungsrate kann höher liegen (ENGEL & HÖLTING, 1970).

Es liegt uns die mittlere GW-Entnahme des Wasserwerkes Eltersdorfer Gruppe vor mit

$$\begin{aligned} &1\ 154\ 555\ m^3/a \quad (9\text{-jähriges Mittel}) \\ &1\ 154\ 555\ 000\ l/a \\ &36.6\ l/s (=Q_m) \end{aligned}$$

Es soll außerdem das zugehörige Einzugsgebiet ermittelt werden. Unter Berücksichtigung der GW-Betriebsspiegellhöhen wurden eine minimale und eine mittlere Einzugsfläche angenommen :

$$F_{E\ min.} = 0.85 \cdot 1.3 = 1.105\ km^2$$

$$F_{E\ mitt.} = 1.0 \cdot 1.5 = 1.5\ km^2$$

Da sich die Brunnen des Knoblauchslandes südlich von der Ostfassung der Eltersdorfer-Gruppe befinden, und da außerdem der Aquifer im Westen mit der Regnitz und im Osten mit dem Blasensandstein in hydraulischem Kontakt steht, konnte die Fläche des Einzugsgebietes schwer abgeschätzt werden.

B.REICHEL (1982) hat im Norden des untersuchten Raumes eine hydrologische Modellvorstellung auf hydrochemischem und auf bakteriologischem Wege überprüft; das Ergebnis war, daß die Nordfassung Uferfiltrat fördert. In ähnlicher Weise dürfte auch in meinem Arbeitsgebiet Uferfiltrat als Anteil an den

durch die Eltersdorfer Gruppe geförderten Wassermengen ein größeres Einzugsgebiet für das GW vortäuschen.

Durch die oben erwähnten Probleme könnten die ermittelten Größen des Einzugsgebietes also verfälscht sein.

Unter Annahme der oben berechneten Größe des Einzugsgebietes lässt sich die GW-Neubildungsrate

mit $F_{Emin.}$ zu $G=2.8 \text{ l/s.km}^2$, also 87 mm/a bzw.

mit $F_{Emitt.}$ zu $G=2.0 \text{ l/s.km}^2$, also 64 mm/a

errechnen.

Somit wurde für die nutzbare GW-Neubildung durch diese Methode ein Wert von 64 bzw. 87 mm/a errechnet; in dieser Größenordnung liegt auch der nach WUNDT berechnete Wert (siehe 0.).

6. Zusammenfassung :

Durch Baugrunduntersuchungen, Pegelmessungen, Bohrprofile von Brunnen und von Bohrungen am Main-Donau-Kanal wird die genaue Untersuchung der hydrogeologischen Verhältnisse des betrachteten Raumes ermöglicht. In der vorliegenden Arbeit sollten die nachstehend angegebenen Ziele erreicht werden:

- eine detaillierte Darstellung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse des betrachteten Gebietsabschnittes durch geophysikalische Messungen,

- der Verlauf des von HAARLÄNDER(1971) erwähnten heute begrabenen Talstückes der Regnitz.

Mehrere geologische Profile, die meist quer zur Talachse liegen und bei denen die Informationen durch Geophysikmessungen erweitert waren, geben einen guten Überblick über den Aufbau der quartären Lockergesteine sowie die darunter folgenden Festgesteine. Bei den Lockergesteinen handelt es sich selten um reine Sande und Kiese. Meist weisen sie einen wechselnd hohen Schluffgehalt auf.

Die spez. Widerstände der quartären Talfüllungen bewegen sich etwa von 60 bis 280.0 Ohm m. Dagegen weisen die Ablagerungen in den Terrassen höhere spez. Widerstände auf. Die tonführenden Keuperschichten ergeben spez. Widerstände von etwa 20 bis 50 Ohm m.

In den grundwasserfreien Talfüllungen bewegen sich die seismischen Wellengeschwindigkeiten von etwa 260 m/s bis 480 m/s, dagegen in den grundwasserführenden Talfüllungen von etwa 1200 m/s bis 1500 m/s. In den tonführenden Keuperschichten wurden Geschwindigkeiten von mehr als 2000 m/s gemessen.

Im Bereich des Wasserwerkes Eltersdorfer Gruppe wurden GW-Betriebswasserspiegelpläne, Flurabstandskarten und GW-Ganglinien für verschiedene Jahre erstellt und dadurch der Entnahmebereich und die GW-schwankungen ermittelt.

Durch die Quartärmächtigkeits- und die Quartärbasiskarte wurden die Mächtigkeiten und der Verlauf des begrabenen Talstückes der Regnitz dargestellt.

Mit Hilfe des HAZENschen Verfahrens wurden die k_f -Werte im Bereich des Kraftwerkes Franken II berechnet; diese Daten wurden mit den durch Pumpversuche und andere Verfahren berechne-

ten Werten verglichen. Außerdem wurden mit der von FRITSCH gegebenen Gleichung die k_f -Werte aus den spez. Widerständen errechnet und mit den durch Pumpversuche berechneten Werte verglichen.

Die GW-Bilanzierung für das hydrologische Jahr 1978 wurde mit klimatischen Angaben dargestellt. Die für die GW-Bilanz entscheidenden Faktoren (Niederschlag, Verdunstung, Abfluß usw.) wurden zusammengestellt und mit den aus dem Hydrologischen Atlas der BRD bekannten Werten verglichen. Schließlich wurde die GW-Neubildung^{rote} nach zwei verschiedenen Methode berechnet.

7. LITERATURVERZEICHNIS :

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1975) : Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch ; München
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDES ENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (1974) : Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Regnitz 1-3 ; München
- BIRZER, F. (1951) : Der Ludwigs-Donau-Main-Kanal-Baugeologisch betrachtet. ; Geol. Blätter NO-Bayern, Bd.1, S.29 ; Erlangen
- BISON INSTRUMENTS MODEL 1580 (1977) : Operating Instructions.
- BRUNNACKER, K. (1955) : Die Boden der Terrassen und der Flugsande im Regnitztal. ; Geol. Blätter NO-Bayern, Bd.5, S.71; Erl.
- DUVK (Fachsektion Hydrogeologie der DGG-Fortbildungslehrgang) Grundwasser-Bonn ; Hannover
- ECKL, H. (1983) : Zur Hydrogeologie im Bereich des unteren Sulz Tal sowie Ottmaringer Tal (südliche Frankenalb) unter Anwendung von geophysikalischen Methoden. Dissertation; Erlangen
- ERLANGER STADTWERKE AG (ABTEILUNG WASSERVERSORGUNG) (1975-1983) Beobachtung des Grundwasserspiegels (Wasserwerk Eltersdorf) ; Erlangen; (unveröffentlicht)
- FLATHE, H. & HOMILIUS, J. (1973) : Geoelektrik in der Wassererschließung.; in SCHNEIDER, H. : Die Wassererschließung, S.201; Essen
- FRANKE, J. & POLL, K. (Hrsg.) (1981) : Das Erlanger Regnitztal als exemplarisches Objekt interdisziplinärer Regionalplanung. Eine Untersuchung im Rahmen eines Modellversuchs- Erlanger Forschung, RB, Naturwiss. Med., 10 ; Erlangen
- ARBEITSKREIS GRUNDWASSERNEUBILDUNG DER FACHSEKTION HYDROGEOLOGIE (DGG) (1977) : Grundwasser-Neubildungsbestimmung; Geol. Jahrbuch, C 19, S.98; Erlangen
- HAARLANDER, W. (1970): Ein begrabenes Talstück der Regnitz bei Mannhof-Stadeln; Geol.Blätter NO-Bayern, Bd.20, S.51;Erlangen
- HAARLANDER, W. (1977): Erläuterung zum Blatt Nr. 6431 Herzogenaurach; München
- HERRMANN, R. (1977) : Einführung in die Hydrogeologie : Wasserhaushalt, S.104; Stuttgart

- HUMMEL, J.N. (1936) : Unterlagen der geoelekt.AufschlieBungs -
methoden: Beiträge zur Angewand. Geophysik, Bd.5, S.32; Leipzig
- JOSOPAIT, U. (1980) : Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate
(in DUWK Fachsektion Hydrogeologie der DGG-Fortbildungslehr -
gang Grundwasser, Bonn), Hannover
- JUNG, K. (1948): Angewandte Geophysik; Hannover
- KELLER, G. (1969): Angewandte Hydrogeologie; Hamburg
- KELLER, R. (1978): Hydrogeologischer Atlas der BRD; Boppard
- KERTZ, W. (1969): Einführung in die Geophysik; Mannheim, Wien,
Zürich
- LANDES GEWERBEANSTALT (1965): Dampfkraftwerk Franken II, Frauen-
aurach-Baugrunduntersuchung (Pumpversuch); Nürnberg (unver-
offentlich)
- LANDES GEWERBEANSTALT (1981): Dampfkraftwerk Franken II, Block
3, Baugrund und Gründungsgutachten; Nürnberg (unveroffentlich)
- LANGGUTH, H.R. & VOIGT, R. (1980): Hydrogeologische Methoden ;
Berlin, Heidelberg, New York.
- POHL, J. (1978): Vorlesungsskripten; Erlangen-München
- POLL, K. & SCHRÖDER, B. (1971): Zum Alter der Regnitz Oberter-
rassen nach Aufschlüssen in Alterlangen-Mittelfranken: Geol.
Blätter NO-Bayern, Bd.21, S.171; Erlangen
- POLL, K. & WEICKEN, H. (1976): Quartär Untersuchungen - im Be-
reich der Regnitz-Oberterrasse in Erlangen-West/Mittelfranken:
Geol. Blätter NO-Bayern, Bd.26, S.25; Erlangen
- POLL, K. (1978): Grundwasser und Grundwasserchemismus des
Regnitztalzuges und seiner Einzugsgebiete: Schriftreihe Baye-
risches Landesamt für Wasserwirtschaft H7, "Das Mainprojekt" ;
München
- POLL, K. (1981): Das Erlanger Regnitztal: Erlanger Forschungen,
RB, 10, S.27; Erlangen
- REICH, H. (1939-1941): Ergebnisse bei refraktionsseismischen
Untersuchungen im Alpenvorland zwischen Inn und Melk: Beiträge
zur Angewandte Geophysik, Bd.9, S.269; (1942), Leipzig
- REICHEL, B.R. (1977): Zur Hydrogeologie des Quartärs in Erl.,
Dipl. Arbeit; Erlangen

- REICHEL, B. (1982): Die Schwermetalle Cd, Pb, Cu und Zn und andere Anzeichen anthropogener Verschmutzung im Grundwasser, Flußwasser, Niederschlag und in Talsedimenten nordwestlich von Erlangen; Dissertation; Erlangen
- RICHTER, W. & WAGER, R. (1969): Hydrogeologie; in Lehrbuch der Angewandten Geologie, A. BENTZ & H.J.MARTINI; Stuttgart
- SCHÖN, M. & STOLL, S. (1978): Angewandte Geophysik; Leipzig
- SCHULZ, H.D. (1980): Hydraulisch wirksame Bodenkennziffern; in DUWK (Fachsektion Hydrogeologie der DGG-Fortbildungslehrgang Grundwasser-Bonn; Hannover
- SOKOLOV, P.T. (1936): Zur Theorie der seismischen Methode, Leningrad: Beiträge zur Angew. Geophysik, Bd.5, S.1; Leipzig
- STEIN, A.: Refraktionsseismik; in Methoden der Angew. Geophysik
- STERN, W. (1933): Das Widerstandsverfahren zur Untersuchung von Tektonik und Hydrogeologie des Untergrundes; Beiträge zur Angewand. Geophysik, Bd.3, S.408; Leipzig
- THIELE, H. (1952): Die Geoelektrik in der Wassererschließung in Schneider, H.: Die Wassererschließung; Essen



Frauenaurach

Main-Danau-Kanal

KWF 2

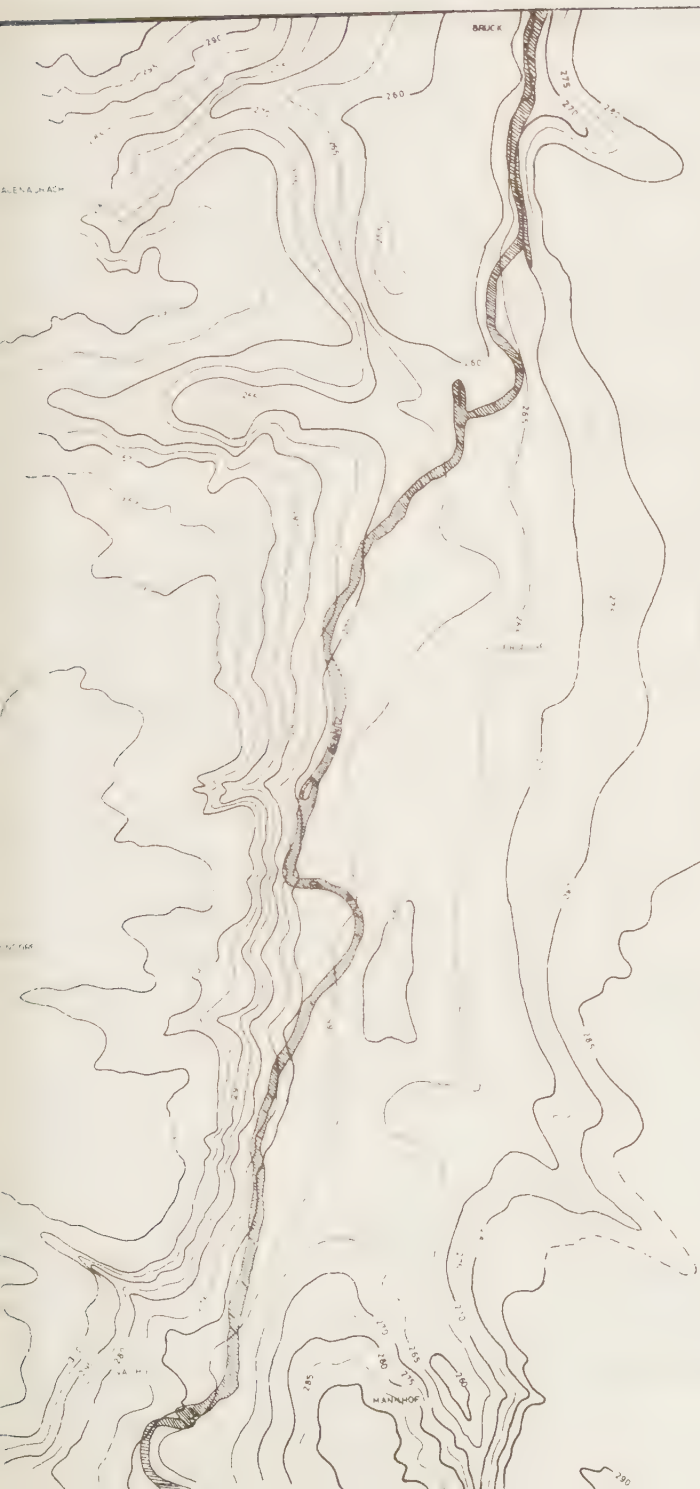
Eilersdorf

Erlanger Auenweg

- = Brunnen
- = Pegel
- A-A' = Lage des geolog. Profils
- S 13: Refraktions-seismisches Profil
- x GE 16: Geoelektr. Sondierung.

GEOLOGISCHE ÜBERSICHTSKARTE





STRUKTURKARTE DER
QUARTÄRBASIS

1:10000



Anlage 3

Z. DEMREI 198



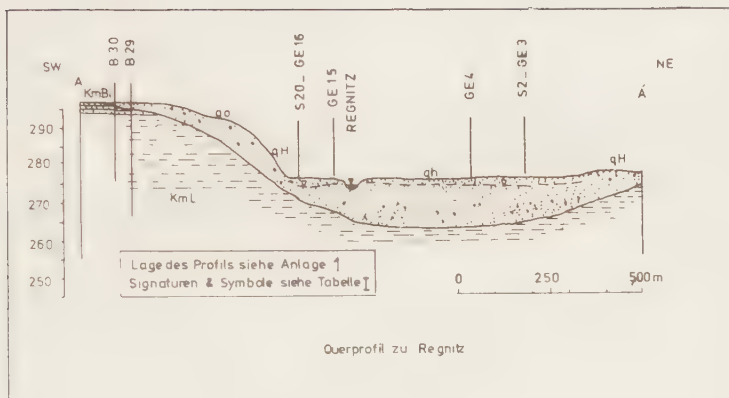
ÜBERSCHWEMMUNGSKARTE

Hochwassergrenze 1971

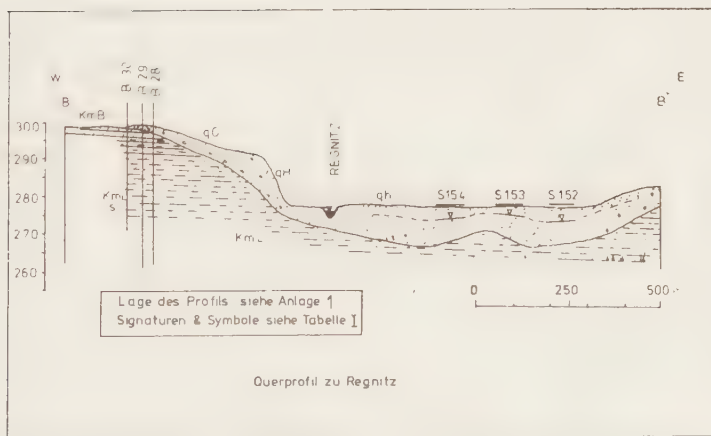
Anlage 4

1:10000

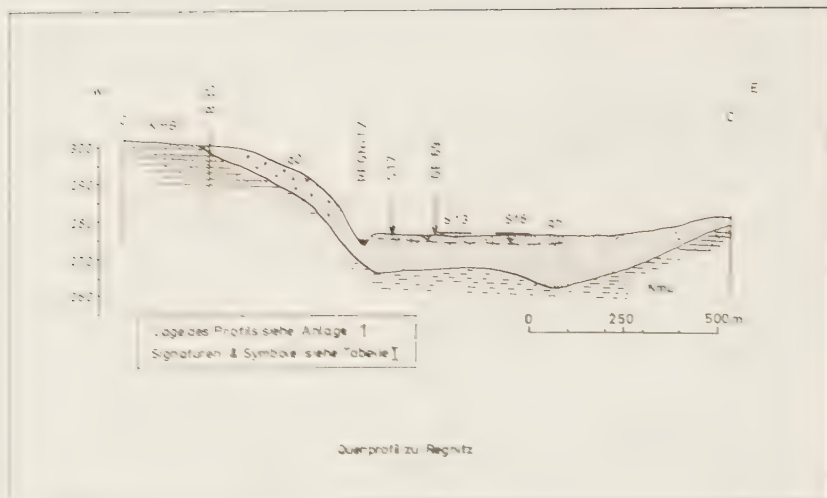




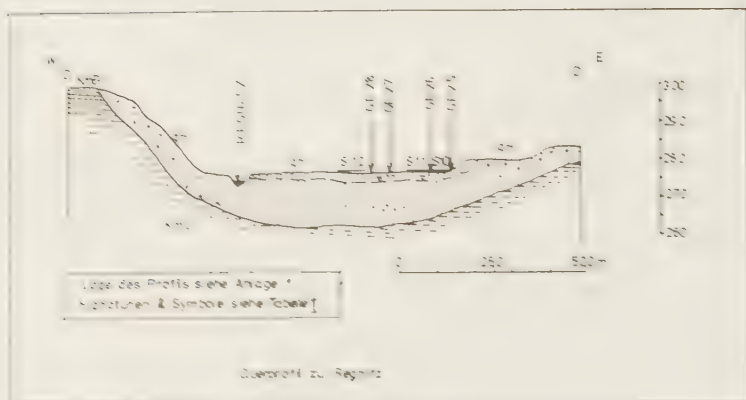
Anlage 5



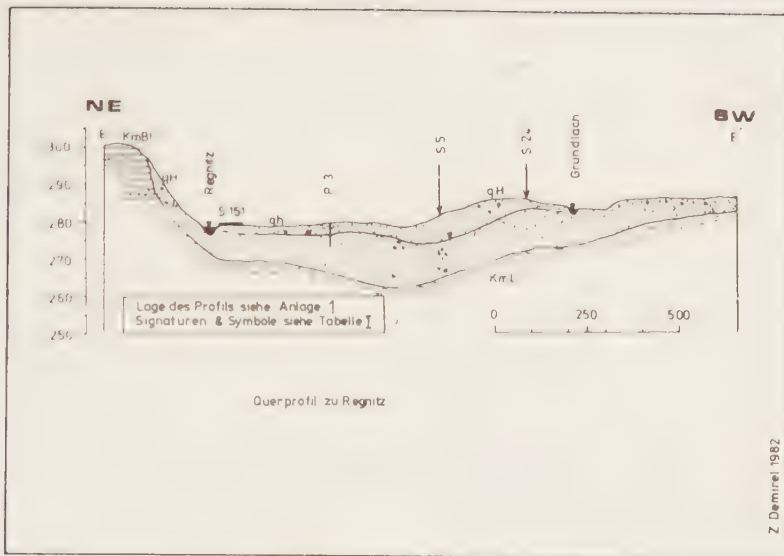
Anlage 6



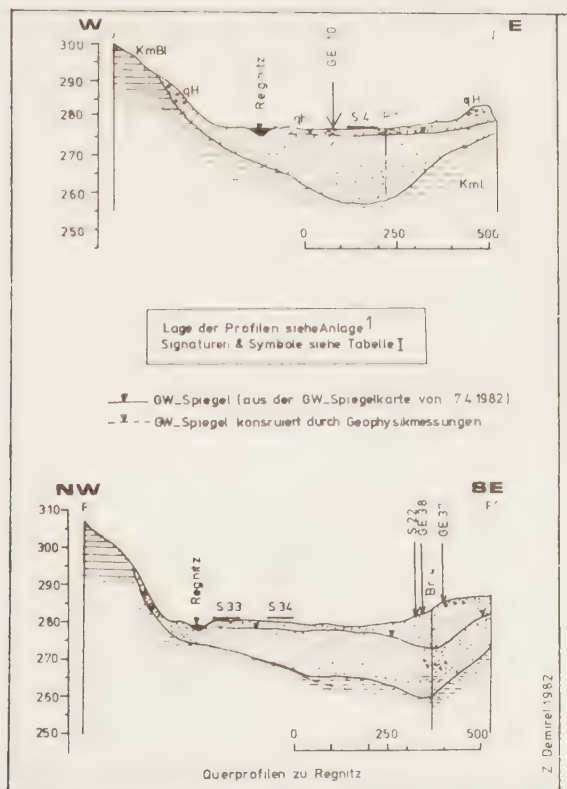
lt. G. 1/1



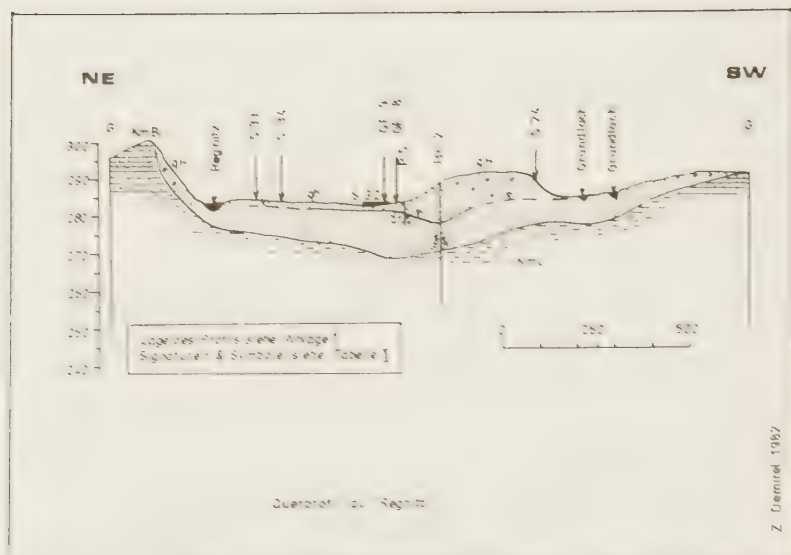
lt. G. 1/1

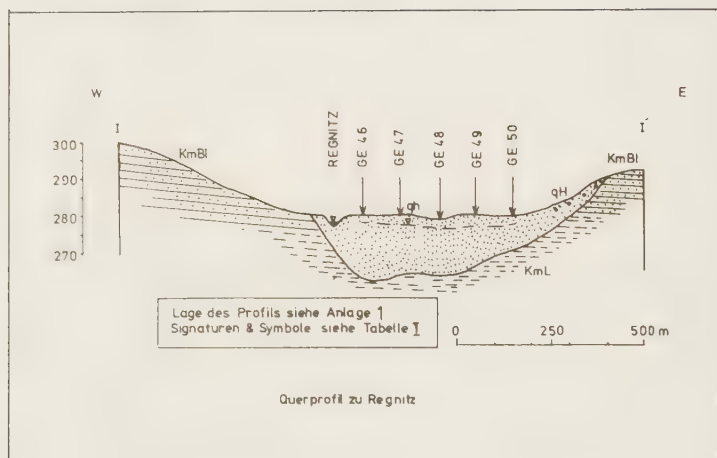


Anlage 9



Anlage 10





Anlage 13

LEBENS LAUF

Persönliche Daten : Zeynel Abidin Demirel
geb.am 05.10.1955 in
Mardin/Türkei

Schulbildung : 1962-1967 Volksschule Marmaris
1967-1972 Gymnasium Bayburt und
Kahramanmaras

Hochschulbildung : 1972-1977 Studium der Geologie
und Paleontologie an
der Universität Anka-
ra/Türkei

Diplomarbeit bei Prof.
Dr.F.KURTMAN :
"Geothermalenergie
Möglichkeiten in der
Umgebung Beypazari-
Ankara/Türkei mit geol.
Kartierung (1:25 000)."

10/78 - 2/84 Promo-
tionsstudium im Fach
Geologie bei Prof.Dr.
K.POLL an der Fried-
rich-Alexander-Univer-
sität Erlangen-Nürnberg
zum vorliegenden Thema.

